



Universidad
Carlos III de Madrid

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA
INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL ELECTRÓNICA
INDUSTRIAL

PROYECTO FIN DE CARRERA

ENLACE OPTOELECTRÓNICO DE AUDIO

AUTOR: JESÚS GARCÍA LOZANO
DIRECTOR: JOSÉ ISIDRO SANTOS GARCÍA

Leganés, Diciembre de 2012

ENLACE OPTOELECTRÓNICO DE AUDIO

AUTOR: JESÚS GARCÍA LOZANO

DIRECTOR: JOSÉ ISIDRO SANTOS GARCÍA

EL TRIBUNAL

Presidente: Michael García Lorenz

Vocal: Fernando García Fernandez

Secretario: Juan Ramón Catalina Calle

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día 13 de Diciembre de 2012 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

AGRADECIMIENTOS

Llegó el deseado momento de escribir estas líneas para agradecer el apoyo recibido durante todos los años de la carrera por toda la gente que estaba a mí alrededor.

En primer lugar agradecer el apoyo y los consejos proporcionados por José Isidro Santos, mi tutor de este proyecto fin de carrera, que sin su ayuda no hubiera sido posible la realización del mismo.

Agradecer también al apoyo recibido por parte de Bienvenida y Cipriano, mis Padres y David y Gema, mis hermanos, durante todos estos años, en los buenos y malos momentos, por la comprensión de los suspensos y la alegría compartida en los aprobados.

A mi novia, Nerea, por saber estar a mi lado en todos los momentos importantes, en los felices y sobre todo en los momentos en los que se necesitaba una felicidad añadida.

A mis amigos de la Universidad, volvería a realizar otra carrera para repetir todos los momentos vividos con este gran grupo en el que los momentos malos los convertíamos en buenos, ellos son: Daniel, Sergio, Alberto, Jony y Miguel.

A Plinio Jesús Pinzón por su ayuda en el cálculo de las raíces de las funciones de transferencia.

A mis compañeros de piso, Sergio y Héctor y a todos los amigos de mi querido pueblo, Torrico.

A las personas conocidas en el laboratorio de GDAF, por las conversaciones científico-técnicas mantenidas durante la construcción del prototipo ellos son: Luisja, Gonzalo y Agustín.

A toda mi familia Abuelos, Tíos, Primos, en especial a mi primo Yumi por los ratitos de ocio que nos hemos montado en estos años.

Para finalizar gracias por el apoyo a todas las personas que podrían estar en estas líneas y que por falta de espacio se han podido quedar fuera.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS	9
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
1. MEMORIA.....	14
1.1 INTRODUCCIÓN	14
1.1.1 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO.....	15
1.2 OBJETIVOS.....	16
1.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	17
1.3.1 EMISOR	17
1.3.2 RECEPTOR	19
1.4 ELECCIÓN DE COMPONENTES.....	20
1.4.1 CONTROL DE NIVEL DE LA SEÑAL DE AUDIO EN LA ENTRADA Y MONITORIZACIÓN	20
1.4.2 ETAPA DE PREÉNFASIS	21
1.4.3 MODULADOR	23
1.4.4 CONTROLADOR DEL CICLO DE TRABAJO	25
1.4.5 SUBSISTEMA DEL CONTROLADOR DE LOS LEDS.....	26
1.4.5.1 Elección del LED IR.....	26
1.4.5.2 Elección del transistor	27
1.4.5.3 Circuito del controlador de los LEDS.....	28
1.4.6 ELECCIÓN DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN DEL EMISOR.....	29
1.4.7 ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL CAPTADA EN EL RECEPTOR	29
1.4.7.1 Elección del fotodetector.....	29
1.4.7.2 Circuito acondicionamiento de la señal captada en el receptor	30
1.4.8 DEMODULADOR	31
1.4.9 AMPLIFICACIÓN DE LA SEÑAL DE SALIDA.....	33
1.5 SISTEMA PROPUESTO.....	35
1.5.1 EMISOR	35
1.5.2 RECEPTOR	37
1.6 RESULTADOS EXPERIMENTALES	40
1.6.1 ETAPA DE MODULACIÓN.....	40
1.6.2 ETAPA DE CONTROLADOR DE CICLO DE TRABAJO	41
1.6.3 ETAPA DE CONTROLADOR DE LEDS	43
1.6.4 ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL RECIBIDA EN EL RECEPTOR	43
1.6.5 ETAPA DEL DEMODULADOR	44
1.6.6 ETAPA DE AMPLIFICACIÓN DE LA SEÑAL.....	45
1.6.7 RESPUESTA EN FRECUENCIA DEL SISTEMA	46
1.7 DISEÑO MECÁNICO	48
1.7.1 DISEÑO DE LAS PLACAS DE CIRCUITO IMPRESO	48
1.7.2 SOPORTE Y EMPLAZAMIENTO DE LOS COMPONENTES	50
1.8 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	55
1.9 ANEXOS.....	56
1.9.1 PRINCIPIOS DE LA TECNOLOGIA INALÁMBRICA.....	56
1.9.2 PROPIEDADES, APLICACIONES, Y VENTAJAS DE LOS SISTEMAS INFRARROJOS.....	57
1.9.3 PREÉNFASIS Y DEÉNFASIS.....	61
1.9.4 MODULACIÓN FM.....	63
1.9.5 TEMPORIZADOR 555.....	64

PFC: ENLACE OPTOELECTRÓNICO DE AUDIO

ÍNDICE

1.9.6 EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL..... 67

2. PLANOS 74

3. PLIEGO DE CONDICIONES 90

4. PRESUPUESTO. 92

5. GLOSARIO..... 96

6. REFERENCIAS..... 97

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURA 1.3.1. ESQUEMA DEL SISTEMA COMPLETO.	17
FIGURA 1.3.2. ESQUEMA DEL MÓDULO EMISOR.	18
FIGURA 1.3.3. ESQUEMA DEL MÓDULO RECEPTOR.	19
FIGURA 1.4.1. ESQUEMA ELÉCTRICO DE ATENUACIÓN Y MONITORIZACIÓN DE LA SEÑAL DE AUDIO.....	20
FIGURA 1.4.2. AMPLIFICADOR OPERACIONAL FUNCIONANDO COMO COMPARADOR (EN LAZO ABIERTO).	21
FIGURA 1.4.3. ESQUEMA ELÉCTRICO DE AMPLIFICACIÓN Y PREÉNFASIS.	22
FIGURA 1.4.4. RESPUESTA EN FRECUENCIA DE LA ETAPA DE PREÉNFASIS.	23
FIGURA 1.4.5 ESQUEMA ELÉCTRICO DEL MODULADOR.	24
FIGURA 1.4.6 FORMAS DE ONDA DEL MODULADOR FM.	25
FIGURA 1.4.7 ESQUEMA ELÉCTRICO DEL CONTROLADOR DEL CICLO DEL TRABAJO.	26
TABLA 1.4.1 COMPARATIVA DE LOS LEDS IR SELECCIONADOS.	27
FIGURA 1.4.8. DIODO LED IR TSHF5210.	27
FIGURA 1.4.9. TRANSISTOR PNP BD438.	28
FIGURA 1.4.10 ESQUEMA ELÉCTRICO DEL CONTROLADOR DE LEDS.	28
FIGURA 1.4.11 FUENTE DE ALIMENTACIÓN RS-25-12	29
TABLA 1.4.2. COMPARATIVA DE LOS FOTODETECTORES SELECCIONADOS.	30
FIGURA 1.4.12. FOTODIODO BPW24R.	30
FIGURA 1.4.13. ESQUEMA ELÉCTRICO DEL ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL DE ENTRADA.	31
FIGURA 1.4.14. ESQUEMA ELÉCTRICO DEL DEMODULADOR ACONDICIONAMIENTO DE ENTRADA Y MONOESTABLE.....	32
FIGURA 1.4.15. FORMAS DE ONDA EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL DEMODULADOR.....	32
FIGURA 1.4.16. ESQUEMA DE LOS FILTROS DEL DEMODULADOR.....	33
FIGURA 1.4.17. ESQUEMA ELÉCTRICO DE LA ETAPA AMPLIFICADORA.....	34
FIGURA 1.5.1 ESQUEMA ELÉCTRICO DEL EMISOR.	36
FIGURA 1.5.2 FORMAS DE ONDA DE ENTRADA Y SALIDA DEL EMISOR.	37
FIGURA 1.5.3 ESQUEMA ELÉCTRICO DEL RECEPTOR.	38
FIGURA 1.5.4.FORMAS DE ONDAS DEL MÓDULO RECEPTOR DURANTE LA SUBIDA DE LA MODULADORA	39
FIGURA 1.6.1. A) FORMA DE ONDA DE LA CARGA Y DESCARGA DEL CONDENSADOR C8 (TRAZA AZUL) Y FORMA DE ONDA EN LA SALIDA DEL MODULADOR TRABAJANDO A 100KHZ (TRAZA ROJA). B) SEÑAL DE ENTRADA AL MODULADOR POR EL TERMINAL DE CONTROL (TRAZA AZUL) PARA UNA FRECUENCIA DE 1.48KHZ Y FORMA DE LA ONDA MODULADA EN FM, FRECUENCIA DE PORTADORA DE 100KHZ (TRAZA ROJA).	40

PFC: ENLACE OPTOELECTRÓNICO DE AUDIO

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURA 1.6.2. FORMA DE ONDA EN LA SALIDA DEL MODULADOR TRABAJANDO APROXIMADAMENTE A 100KHZ.....	41
FIGURA 1.6.3. FORMA DE ONDA EN LA SALIDA DEL CONTROLADOR DEL CICLO DE TRABAJO (TRAZA AZUL) Y FORMA DE ONDA EN LA SALIDA DEL MODULADOR TRABAJANDO A 100KHZ (TRAZA ROJA).....	41
FIGURA 1.6.4. FORMA DE ONDA EN LA SALIDA DEL CONTROLADOR DEL CICLO DE TRABAJO (TRAZA AZUL) Y FORMA DE ONDA EN LA SALIDA DEL MODULADOR TRABAJANDO A 100KHZ (TRAZA ROJA).....	42
FIGURA 1.6.5. FORMA DE ONDA EN LA SALIDA DEL CONTROLADOR DEL CICLO DE TRABAJO (TRAZA AZUL) Y FORMA DE ONDA EN LA SALIDA DEL MODULADOR TRABAJANDO A 100KHZ (TRAZA ROJA).....	42
FIGURA 1.6.6. FORMA DE ONDA EN LA SALIDA DEL CONTROLADOR DEL CICLO DE TRABAJO (TRAZA ROJA) Y FORMA DE ONDA EN LA SALIDA DEL MODULADOR TRABAJANDO A 100KHZ (TRAZA AZUL).....	42
FIGURA 1.6.7. SE MUESTRA LA SALIDA DE LEDS TRAZA ROJA. LA TRAZA AZUL PERTENECE A LA SALIDA DEL CONTROLADOR DEL CICLO DE TRABAJO.	43
FIGURA 1.6.8. LA TRAZA ROJA MUESTRA LA SEÑAL RECIBIDA POR EL FOTODIODO. LA TRAZA AZUL MUESTRA LA SALIDA DEL AMPLIFICADOR DE TRANSIMPEDANCIA.	43
FIGURA 1.6.9. FORMAS DE ONDA DE LA ETAPA DEL DEMODULADOR.	44
FIGURA 1.6.10. SE MUESTRA LA TRAZA ROJA SIN COMPONENTE CONTINUA Y LA TRAZA AZUL CON LA COMPONENTE CONTINUA.	44
FIGURA 1.6.11.A) TRAZA ROJA ONDA MODULADORA Y LA TRAZA AZUL ONDA MODULADA EN FM. B) LA TRAZA AZUL LA SEÑAL MODULADA A 100 KHZ. Y LA TRAZA ROJA LA ONDA DEMODULADA	45
FIGURA 1.6.12. FORMA DE ONDA EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL AMPLIFICADOR DE POTENCIA.	45
TABLA 1.6.1. DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS EN EL ESTUDIO DE FRECUENCIA DEL SISTEMA.....	46
FIGURA 1.6.13. FORMAS DE ONDA EN LA FRECUENCIA DE 3KHZ	46
FIGURA 1.6.14. RESPUESTA EN FRECUENCIA DEL SISTEMA.....	47
FIGURA 1.7.1. PCB DEL EMISOR	48
FIGURA 1.7.2. A) CAPA TOP DEL CIRCUITO IMPRESO DEL EMISOR, SE APRECIAN DOS CONECTORES EL DE LA IZQUIERDA DE LA IMAGEN ES PARA LA ENTRADA DE AUDIO MEDIANTE UN CONECTOR JACK MACHO Y EL CONECTOR EN LA PARTE SUPERIOR DE LA IMAGEN ES PARA LA ALIMENTACIÓN. B) CAPA BOTTOM DEL CIRCUITO IMPRESO DEL EMISOR.	49
FIGURA 1.7.3. PCB DEL RECEPTOR.....	49
FIGURA 1.7.4. CIRCUITO IMPRESO DEL MÓDULO RECEPTOR	50
FIGURA 1.7.5. SOPORTE Y EMPLAZAMIENTO DE LOS COMPONENTES DEL EMISOR.....	51
FIGURA 1.7.6. IMAGEN DEL SOPORTE DEL EMISOR.	51
FIGURA 1.7.7. SOPORTE Y EMPLAZAMIENTO DE LOS COMPONENTES DEL RECEPTOR.	52
FIGURA 1.7.8. IMAGEN DEL SOPORTE DEL RECEPTOR.....	53
FIGURA 1.7.9 IMAGEN DE LOS SOPORTES DE AMBOS MÓDULOS.....	53
FIGURA 1.7.10. PROTOTIPO DEL MÓDULO EMISOR.	53
FIGURA 1.7.11. A) ALZADO DEL MÓDULO RECEPTOR SE OBSERVA EL ALTAVOZ CONECTADO A LA SALIDA MEDIANTE UN CONECTOR JACK HEMBRA. B) ALZADO POSTERIOR DEL MÓDULO RECEPTOR.	54
FIGURA 1.7.12. PROTOTIPO FUNCIONANDO	54

FIGURA 1.9.1. CONFIGURACIONES DE LOS SISTEMAS ÓPTICOS INALÁMBRICOS.....	57
FIGURA 1.9.2. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO DE LUZ.....	58
FIGURA 1.9.3. ESPECTRO DEL RUIDO DEMODULADO EN UN SISTEMA DE FM SIN DEÉNFASIS.....	61
FIGURA 1.9.4. RELACIÓN SEÑAL RUIDO A) SIN PREÉNFASIS B) CON PREÉNFASIS.....	62
FIGURA 1.9.5. CONFIGURACIÓN DE UN TEMPORIZADOR 555 EN MODO MONOESTABLE.....	64
FIGURA 1.9.6. CONEXIÓN MONOESTABLE VISTA DESDE SU CIRCUITO INTERNO.....	65
FIGURA 1.9.7. FORMAS DE ONDA DE UN 555 COMO MONOESTABLE.....	66
FIGURA 1.9.8: CONFIGURACIÓN VCO.	66
FIGURA 1.9.9. ESQUEMA INTERNO DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL.	67
FIGURA 1.9.10 MODELO IDEAL DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL.	68
FIGURA 1.9.11 DIAGRAMA DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL EN LAZO ABIERTO.	68
FIGURA 1.9.12. AMPLIFICADOR OPERACIONAL REALIMENTADO.....	69
FIGURA 1.9.13. AMPLIFICADOR OPERACIONAL NO- INVERSOR.....	70
FIGURA 1.9.14. ESQUEMA INTERNO DE LM386.	71
FIGURA 1.9.15. PIN OUT DEL LM386.	72
FIGURA 1.9.16. CONFIGURACIÓN DEL LM386 CON UNA GANANCIA DE 20.....	72

RESUMEN

En este proyecto se diseña e implementa un sistema capaz de transmitir audio mediante luz infrarroja. Se pueden diferenciar dos grandes partes del proyecto, una el módulo emisor y la otra el módulo receptor.

La señal es introducida en el módulo emisor a partir de cualquier reproductor de audio. Esta señal es sometida a un proceso de modulación FM para mejorar la comunicación entre emisor y receptor, puesto que la transmisión de la señal en banda base es más vulnerable a ruidos. Una vez modulada en frecuencia, la señal de audio es transmitida a través de luz infrarroja con diodos LED que emiten este tipo de luz.

La señal emitida es captada en el receptor con un fotodiodo que es sensible a la luz infrarroja, y a continuación es sometida a un proceso de demodulación y regeneración de la señal original de audio. Finalmente, se utiliza un amplificador de potencia para que la señal regenerada pueda ser escuchada en un altavoz conectado al módulo receptor.

ABSTRACT

This project is designed and implemented a system capable of transmitting audio via infrared light. It can distinguish two main parts of the project, a transmitter module and one receiver module.

The signal is input to the transmitter module from any audio player. This signal is subjected to FM modulation process to improve the communication between transmitter and receiver since the transmission baseband signal is vulnerable to noise. Once modulated in frequency, the audio signal is transmitted via infrared light with LEDs that emit this type of light.

The signal is picked up in the receiver with a photodiode which is sensitive to infrared light and then is subjected to a demodulation process and regeneration of the original audio signal. Finally, a power amplifier used for the regenerated signal to be heard in a speaker connected to the receiver module.

1.MEMORIA

1.1 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, las tecnologías inalámbricas son demandadas por consumidores a nivel privado y a nivel industrial debido a que con las mismas las funciones de transmitir, intercambiar o recibir información resultan más eficaces, puesto que la movilidad no es un inconveniente para la transmisión de información al no existir cableado.

La flexibilidad en el montaje de los terminales supone reducciones significativas en el coste y en el tiempo de montaje. Estas tecnologías son apropiadas para utilizar en laboratorios, salas de conferencia, oficinas, hospitales, plantas de producción, instituciones educativas o instituciones culturales, donde realizar una comunicación por cable sería más costoso y complicado, si no imposible.

La luz infrarroja (IR) y la radiofrecuencia son actualmente las principales bandas del espectro electromagnético que se utilizan para transmitir información de forma inalámbrica.

Una ventaja de los sistemas de infrarrojos sobre los sistemas de radiofrecuencia es que no existen interferencias que provoquen errores en la comunicación.

En espacios culturales como museos se tiene la necesidad de hacer llegar la información de la obra cultural a los turistas. Para ello, entre otras aplicaciones, se ha desarrollado este sistema de comunicación mediante luz infrarroja (IR), por el cual el emisor colocado junto a la escultura está emitiendo la información deseada de la obra a los turistas mientras que estos escuchan a través de los auriculares del módulo receptor.

El sistema desarrollado consiste en un módulo emisor IR que transmite un canal de audio (sistema monofónico), y en un módulo receptor que lo recibe y lo reproduce en un altavoz o en unos auriculares.

En el desarrollo del sistema se han elegido componentes de bajo coste, circuitos simples y fiables, que han sido estudiados durante la carrera.

La realización del sistema se ha llevado a cabo en el laboratorio del Grupo de Displays y Aplicaciones Fotónicas "GDAF", de la Universidad Carlos III de Madrid (Departamento de Tecnología Electrónica, Escuela Politécnica Superior).

1.1.1 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

La memoria consta de cuatro capítulos. En las próximas líneas se va a tratar de explicar brevemente el contenido de cada uno de ellos.

1. Memoria: En este es el capítulo se encuentra todo el contenido del proyecto en lo que se refiere a diseño y desarrollo, contiene varios subcapítulos:
 - Descripción del Sistema: Se describen de forma genérica mediante diagrama de bloques de las partes del sistema.
 - Elección de Componentes: Se realiza una selección de los componentes apropiados para las diferentes etapas a la vez que se desarrolla el diseño de cada subsistema.
 - Sistema Propuesto: Se explica el funcionamiento del sistema mediante simulaciones.
 - Resultados Experimentales: Se muestran los resultados obtenidos con el sistema montado a partir de capturas tomadas en el osciloscopio durante su funcionamiento.
 - Diseño Mecánico: Se muestra el montaje final del prototipo a través de imágenes y se explica la construcción del soporte.
 - Conclusiones y propuestas de mejora: Se detalla la conclusión de nuestro sistema y también se exponen propuestas de mejora.
 - Anexos.
2. Planos: Están todos los planos para el montaje del sistema y también se incluye los fotolitos de impresión de las PCB.
3. Pliego de condiciones: Se desarrollan las especificaciones y normas que debe cumplir este proyecto.
4. Presupuesto: Se realiza una valoración de los costes del sistema.

PFC: ENLACE OPTOELECTRÓNICO DE AUDIO

OBJETIVOS

1.2 OBJETIVOS

El objetivo principal del proyecto es diseñar un sistema compuesto por un módulo transmisor y un módulo receptor de infrarrojos capaces de transmitir señales de audio.

En segundo lugar el objetivo buscado es desarrollar un prototipo con componentes fiables, de fácil manejo y estudiados durante la carrera de Ingeniería Técnica Industrial.

El último objetivo buscado es transmitir la señal de audio con un ancho de banda comprendido entre 50 Hz y 7.5 KHz.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En la figura 1.3.1 se muestra un diagrama de bloques del sistema completo. A la entrada del sistema se conecta un reproductor de audio que se encarga de proporcionar la señal. En el emisor se realiza una modulación FM para transmitir la señal. Por último esta señal es emitida mediante los diodos emisores de luz (LEDs) de IR.



Figura 1.3.1. Esquema del sistema completo.

En el receptor, se capta la señal modulada de IR transmitida por el emisor mediante un fotodiodo, se realiza un proceso de demodulación FM y, finalmente, se reproduce la señal obtenida con este último proceso en un altavoz o un auricular.

1.3.1 EMISOR

En el diagrama de bloques representado en la figura 1.3.2 se muestran las distintas etapas que componen el emisor.

En la primera etapa se regula el nivel de la señal de entrada procedente del reproductor de audio. Así mismo, se efectúa una monitorización de su amplitud que nos indique la posible saturación de alguna etapa del emisor.

PFC: ENLACE OPTOELECTRÓNICO DE AUDIO

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En el siguiente paso se realiza una preénfasis de la señal en altas frecuencias, con este procesamiento se mejora la relación señal-ruido del sistema.

A continuación se realiza la modulación FM con un VCO. En este paso las variaciones de tensión de la señal de entrada al VCO provocan variaciones de frecuencia de su señal de salida.

EMISOR

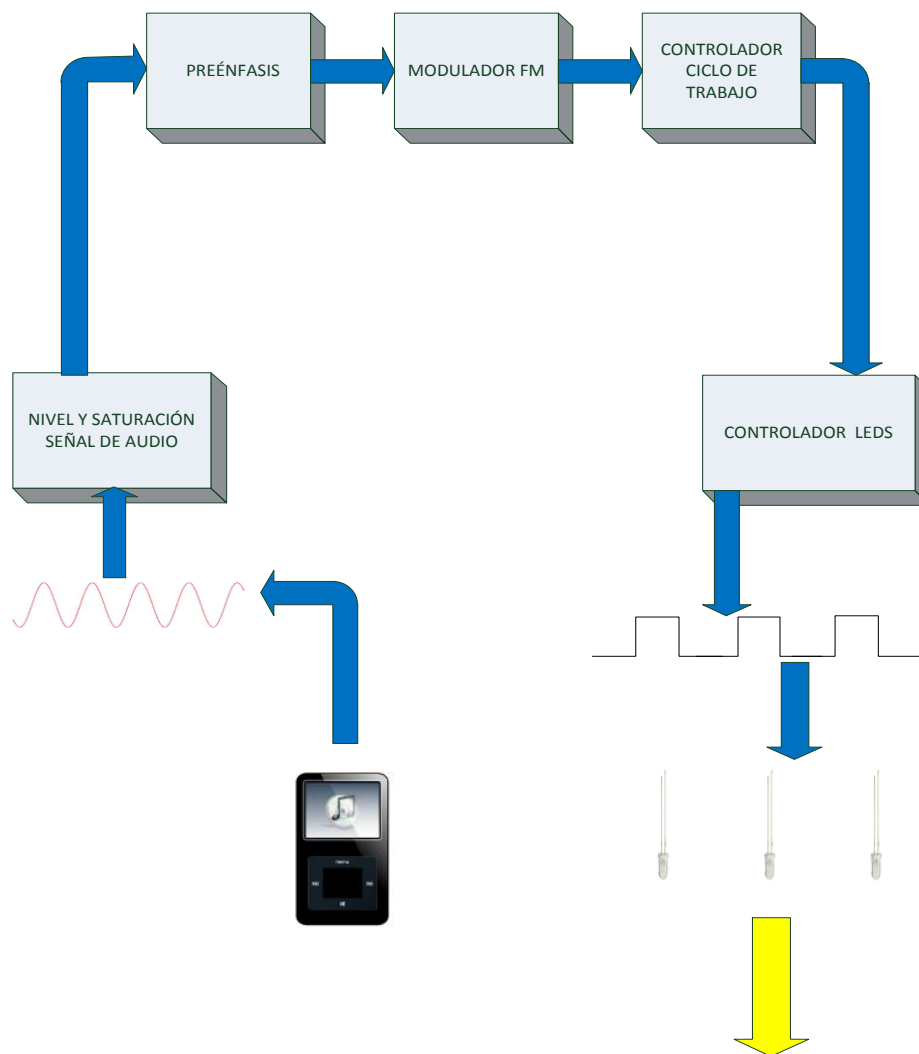


Figura 1.3.2. Esquema del módulo emisor.

En la siguiente etapa se realiza un ajuste del ciclo de trabajo que permitirá controlar la corriente media y de pico aplicada a los LEDs.

En la última etapa la señal portadora es adaptada para ser transmitida con los LEDs de IR.

1.3.2 RECEPTOR

En la figura 1.3.3 se muestra un diagrama de bloques con todas las etapas del receptor.

La señal modulada se recibe en el fotodiodo y es acondicionada con un amplificador de transimpedancia para convertir en tensión la corriente generada por el fotodiodo.

A continuación se produce la demodulación FM, incluidas las etapas de filtrado necesarias para recuperar la onda moduladora a partir de las componentes espectrales de la onda modulada.

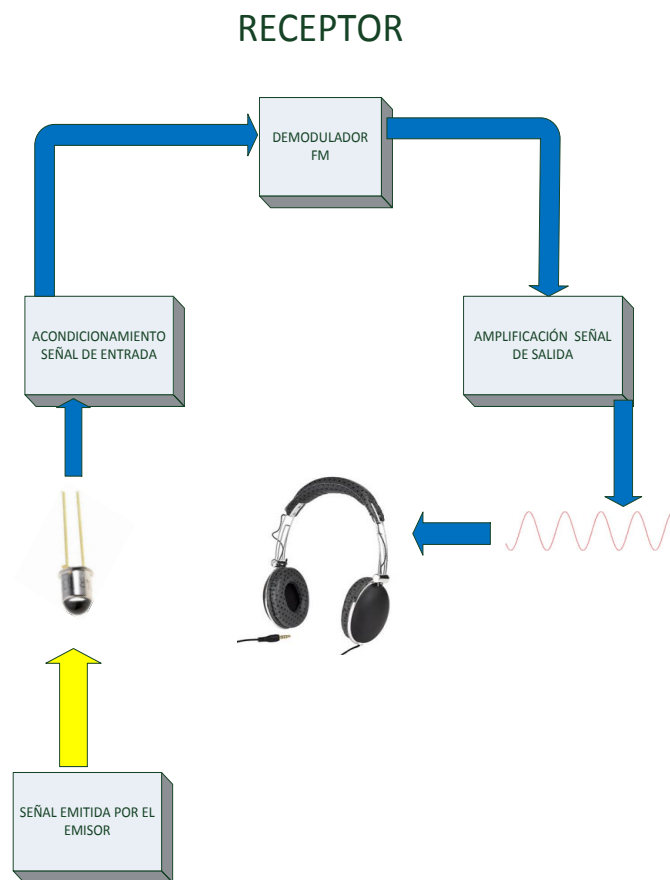


Figura 1.3.3. Esquema del módulo receptor.

En la última etapa se amplifica la señal moduladora con un amplificador de potencia que permita escuchar el audio en los auriculares o en un altavoz.

PFC: ENLACE OPTOELECTRÓNICO DE AUDIO

ELECCIÓN DE COMPONENTES

1.4 ELECCIÓN DE COMPONENTES

En este subcapítulo se procede a explicar la elección de los diferentes subsistemas y componentes del sistema propuesto. Para dicha elección se han tenido en cuenta, entre otros, algunos de los circuitos y componentes básicos utilizados en la realización de las prácticas desarrolladas durante la carrera de Ingeniería Técnica Industrial: Electrónica Industrial. Otro factor que se ha tenido en cuenta ha sido la fácil obtención, su bajo coste y fiabilidad.

1.4.1 CONTROL DE NIVEL DE LA SEÑAL DE AUDIO EN LA ENTRADA Y MONITORIZACIÓN

En la entrada del emisor se necesita controlar la amplitud de la señal de audio, que puede proceder de distintos tipos de fuentes, para evitar posibles distorsiones. La señal de entrada en el emisor se obtiene de cualquier sistema que reproduzca audio. Esta señal tiene un ancho de banda que, en los sistemas de alta fidelidad, está comprendido entre 20Hz y 20Khz.

En el primer paso la señal de audio es atenuada con el potenciómetro R18 de la figura 1.4.2, este potenciómetro es conocido en los sistemas de audio como control de volumen.

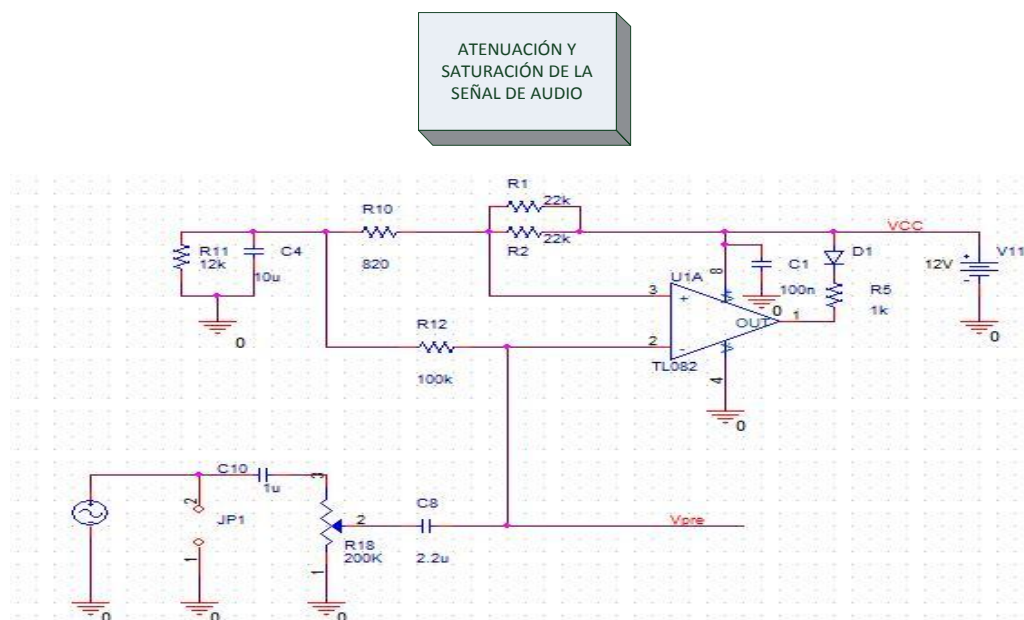


Figura 1.4.1. Esquema eléctrico de atenuación y monitorización de la señal de audio.

En la figura 1.4.2 se muestra un amplificador operacional funcionando como comparador. Esta configuración del operacional ha sido utilizada para monitorizar la amplitud de la señal, indicando mediante un LED cuando se supera un determinado umbral.

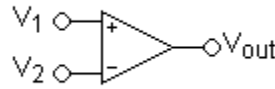


Figura 1.4.2. Amplificador operacional funcionando como comparador (en lazo abierto).

A continuación se muestran las expresiones que definen el funcionamiento del comparador.

$$V_1 > V_2 \Rightarrow V_{out} = V_{cc} \text{ Led D1 apagado} \quad (1.4.1)$$

$$V_1 < V_2 \Rightarrow V_{out} = Gnd \text{ Led D1 encendido} \quad (1.4.2)$$

Cuando se superan los 6.5 voltios que se tienen como tensión de referencia provoca el encendido del LED D1 y la indicación de que el sistema está saturado.

$$V_{ref} = \frac{R_{10} + R_{11}}{(R_1 // R_2) + R_{10} + R_{11}} \times V_{CC} = 6.5 \text{ V.} \quad (1.4.3)$$

Para eliminar esta saturación hay ajustar el potenciómetro R18 hasta que el LED D1 se apague, en ese instante la tensión instantánea de entrada es menor que la de referencia y el LED quedaría apagado.

1.4.2 ETAPA DE PREÉNFASIS

En esta etapa se realiza un procesamiento que permite mejorar la relación señal/ruido del sistema.

La preénfasis consiste en una amplificación de las altas frecuencias de la señal moduladora antes de realizar la modulación. [Frenzel]. Para ello se introduce un cero en frecuencias medias que hace que la frecuencia de transferencia aumente.

En la figura 1.4.3 se observa el circuito de la preénfasis realizado con un amplificador operacional.

PFC: ENLACE OPTOELECTRÓNICO DE AUDIO

ELECCIÓN DE COMPONENTES

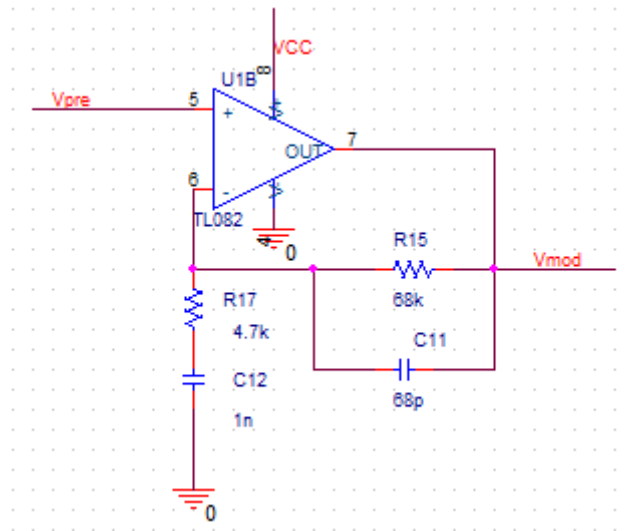
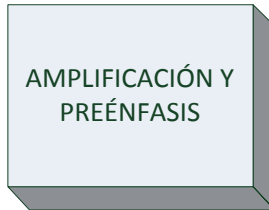


Figura 1.4.3. Esquema eléctrico de amplificación y preénfasis.

A continuación se desarrolla la función de transferencia de la etapa para determinar los polos y ceros.

$$V_{out} = V_{in} [1 + (Z_2 \div Z_1)] \quad (1.4.4)$$

$$Z_2 = (R_{15} // C_{11});$$

$$Z_2 = R_{15} / (sC_{11}R_{15} + 1); \text{ donde } s = j\omega;$$

$$Z_1 = R_{17} + C_{12};$$

$$Z_1 = R_{17} + (1/sC_{12}); \text{ donde } s = j\omega$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = 1 + \frac{(R_{15}/sC_{11}R_{15} + 1)}{R_{17} + (1/sC_{12})}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1 + s(R_{15}C_{11} + R_{17}C_{12} + R_{15}C_{12}) + s^2 R_{15}R_{17}C_{11}C_{12}}{(sC_{11}R_{15} + 1)(C_{12}R_{17}s + 1)} \quad (1.4.5)$$

Igualando a cero el numerador se obtienen los ceros. La función tiene dos ceros situados en las frecuencias aproximadas de 2KHz y 546KHz. Los polos se obtienen igualando a cero el denominador. Están situados a la frecuencia aproximada de 34KHz, es un polo doble.

SIMULACIÓN DE LA PREÉNFASIS.

El circuito eléctrico utilizado para la simulación de preénfasis es el de la figura 1.4.3. En la figura 1.4.4 se presenta la respuesta en frecuencia obtenida con ORCAD Release 9.2.

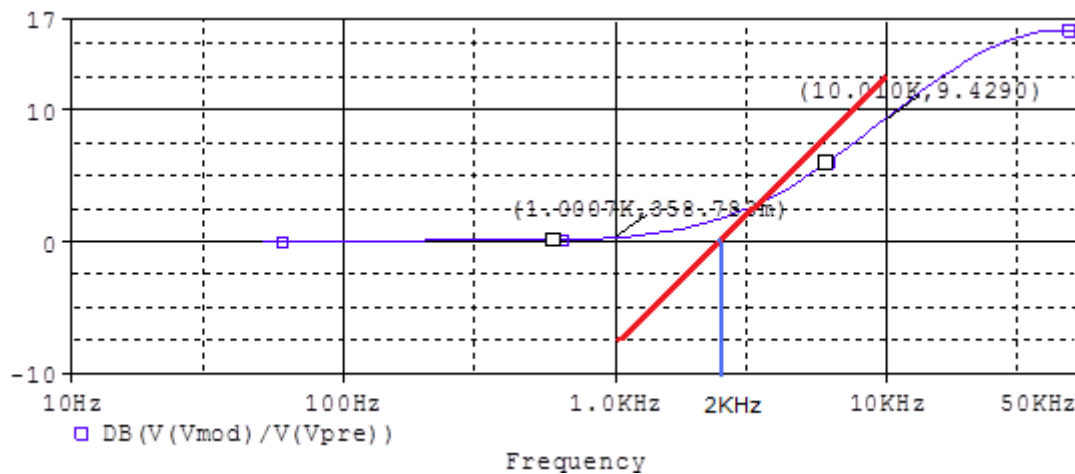


Figura 1.4.4. Respuesta en frecuencia de la etapa de preénfasis.

Como se observa a partir del cero que está aproximadamente a la frecuencia de 2KHz la respuesta en frecuencia comienza a aumentar con una pendiente de 20 dB/Década, la pendiente de la recta de color rojo.

1.4.3 MODULADOR

Para construir el modulador se ha elegido un temporizador 555 con una configuración VCO. Se ha elegido una frecuencia portadora de 100 KHz por dos razones, en primer lugar para que dicha portadora esté lo más alejada posible de la máxima frecuencia de la señal moduladora, al menos una década por encima, al ser la frecuencia de la portadora muy superior a la frecuencia de la moduladora será más fácil filtrar en el proceso de demodulación. En segundo lugar por las limitaciones en los tiempos de subida y de bajada del 555.

En la figura 1.4.5 se observa el circuito utilizado para implementar el VCO. Las variaciones de amplitud de la señal de entrada en el VCO, terminal 5, se convierten en variaciones de frecuencia de la señal de salida, terminal 3, que es un tren de impulsos de amplitud V_{cc} .

En el terminal 5 se superpone la señal alterna moduladora al nivel de tensión de referencia establecido por el 555 funcionando como *aestable*, produciendo variaciones en dicha tensión de referencia, lo que a su vez produce variaciones en la frecuencia de funcionamiento de este oscilador. El condensador C9 bloquea la componente continua que pudiera acompañar a la tensión moduladora.

PFC: ENLACE OPTOELECTRÓNICO DE AUDIO

ELECCIÓN DE COMPONENTES

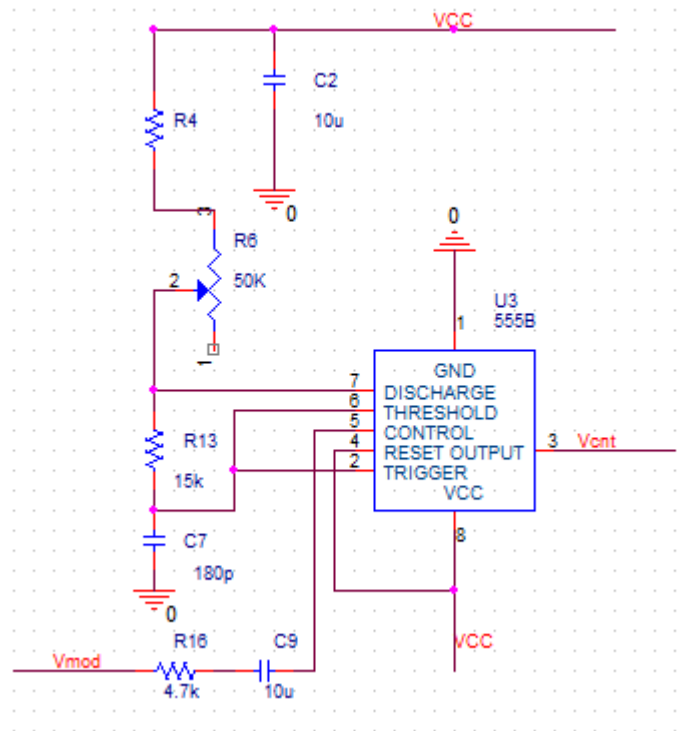
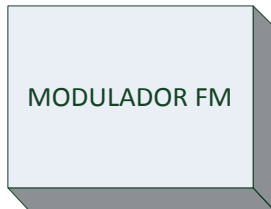


Figura 1.4.5 Esquema eléctrico del modulador.

Para ajustar la frecuencia de oscilación del sistema se utiliza la red formada por R4-R6-R13 y C7. Se ha utilizado para R6 un potenciómetro para ajustar la frecuencia. Con esta red de resistencias y condensadores se calcula el tiempo de carga T_H , donde $T_H = \ln 2 \times C7 \times Req$; $Req = R_0 + R13$; $R_0 = R4 + RPOT$ y el tiempo de descarga T_L , $T_L = \ln 2 \times C7 \times Req$ donde $Req = R13$ del oscilador. La suma de ambos tiempos es el periodo de la onda modulada.

El valor máximo del potenciómetro son 50 KOhm, la resistencia R_4 tiene un valor de 1k Ω y está diseñada para que en caso de que ajustando el potenciómetro en su extremo inferior no se produzca un cortocircuito.

A continuación se desarrollan los cálculos teóricos para la modulación FM:

$$R_0 = R_4 + R_{POT}; R_4 = 1k\Omega; R_{POT} = 44K\Omega;$$

T_H circuito de carga.

$$Req = R_0 + R_{13} = 1k + 44k + 15k = 60k\Omega;$$

$$T_H = \ln 2 \times 180p \times 60k\Omega = 7.49 \times 10^{-6} \text{ S.}$$

T_L circuito de descarga.

$$T_L = \ln 2 \times 180p \times 15K = 1.88 \times 10^{-6} \text{ S.}$$

$$F = \frac{1}{T_H + T_L} = 106.76 \text{ [KHz]} \quad (1.4.6)$$

En la figura 1.4.6 se muestran las formas de onda obtenidas mediante la simulación de este modulador FM. La traza verde es la onda modulada en FM producida por una moduladora sinusoidal, onda roja.

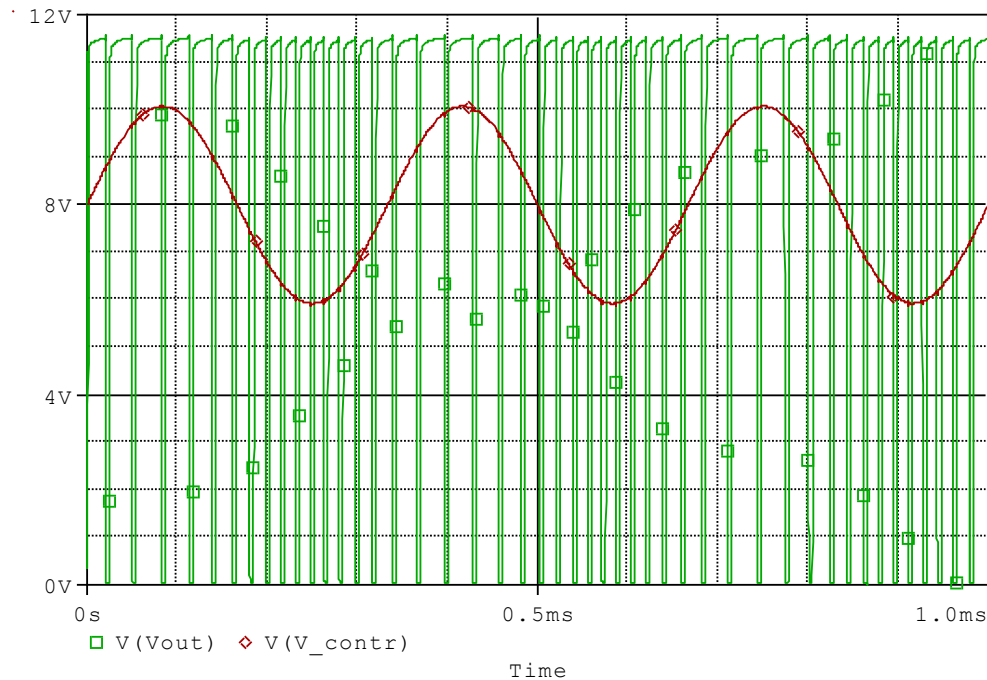


Figura 1.4.6 Formas de onda del modulador FM.

Como se observa, cuando la amplitud de la onda moduladora aumenta, la frecuencia de oscilación disminuye debido a que el periodo de la onda modulada aumenta, y cuando la onda moduladora disminuye, la frecuencia de oscilación aumenta puesto que el periodo de la onda modulada disminuye.

1.4.4 CONTROLADOR DEL CICLO DE TRABAJO

Una vez modulada la portadora en frecuencia se necesita ajustar el ciclo de trabajo al 99% para obtener grandes picos de corrientes.

Para realizar el ajuste del ciclo de trabajo se ha elegido de nuevo el temporizador 555, configurado en modo *monoestable*. Es necesario tener un ciclo de trabajo muy pequeño para obtener en los LED una corriente elevada de pico con una corriente media pequeña. En la figura 1.4.7 se observa el circuito eléctrico de la etapa

PFC: ENLACE OPTOELECTRÓNICO DE AUDIO

ELECCIÓN DE COMPONENTES

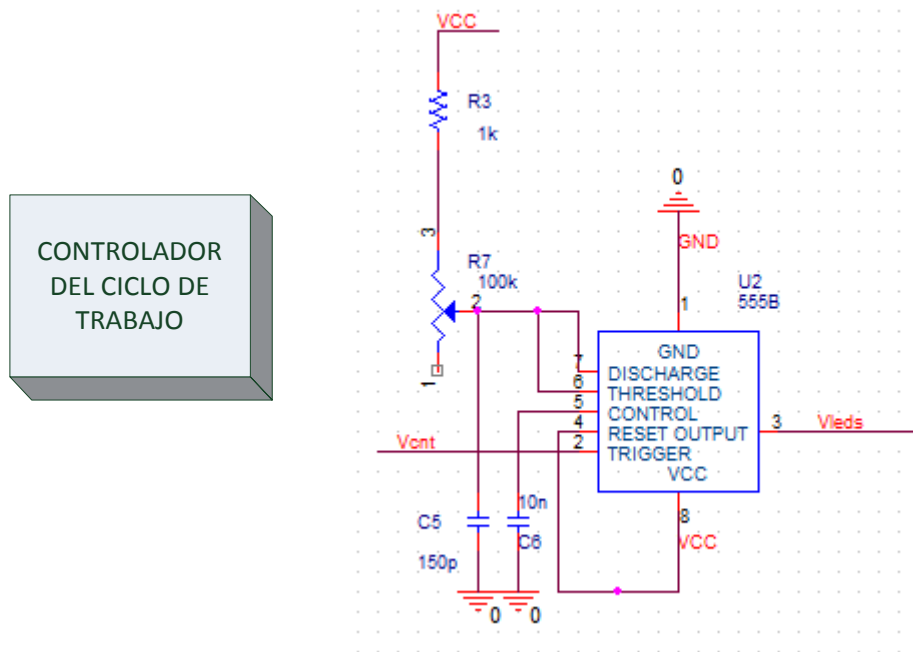


Figura 1.4.7 Esquema eléctrico del controlador del ciclo del trabajo.

La red formada por R3-R7 y C5 ajusta el tiempo t_m , que es la duración del pulso en la onda de salida a nivel alto. La resistencia R7 es variable para ajustar el ciclo al 1%. En la expresión 1.4.7 se muestra el cálculo del tiempo t_m .

$$t_m = \ln 3 \times (R3 + R7) \times C5 \quad (1.4.7)$$

1.4.5 SUBSISTEMA DEL CONTROLADOR DE LOS LEDS

Se necesita transmitir la onda portadora con unos LEDs de IR.

En el diseño de esta etapa existen dos componentes esenciales para transmitir la señal. Estos son los LEDs de IR y el transistor.

1.4.5.1 Elección del LED IR

Para aumentar el alcance se necesitan pulsos de corta duración y una gran amplitud de manera que la corriente media sea pequeña pero la corriente de pico que es la que nos proporciona el alcance sea grande.

La elección de un LED de IR adecuado es necesario para la transmisión de la señal. En la siguiente tabla están las especificaciones técnicas del diodo seleccionado.

	T_R	I_F	I_{FSM}	ANGLE	VOLTAGE	λ_p
TSHF5210	30ns	100ma	1.5.A	+ -10º	2.3V	890nm

Tabla 1.4.1 Comparativa de los leds IR seleccionados.

Especificaciones técnicas:

T_R : Rise Time, es el tiempo de subida del diodo.

I_F : Forward Current , es la corriente media soportada por el led.

I_{FSM} : Surge Forward Current, es la corriente de pico soportada por el diodo.

ANGLE: Ángulo, es el ángulo de emisión del led.

VOLTAGE: Es la tensión directa del diodo.

λ : Es la longitud pico de onda en la transmisión de luz del diodo.

En la figura 1.4.8 se observa una imagen del LED IR.



Figura 1.4.8. Diodo led IR TSHF5210.

1.4.5.2 Elección del transistor

El transistor elegido tiene que ser un PNP, para activarlo con el nivel bajo del pulso, que soporte una corriente de mas de 1A y que los tiempos de subida y de bajada sean inferiores a los 100ns.

La elección es el BD438 véase la figura 1.4.9. Es un transistor PNP, el tiempo de subida y bajada es inferior a los 100ns necesarios para la conmutación de la señal modulada a 100kHz y soporta una corriente de 4 A, mucho mayor que la corriente de 1 A que es la corriente de pico del sistema y soporta una VEC de 45V que es mayor que Vcc, que es de 12 V.

PFC: ENLACE OPTOELECTRÓNICO DE AUDIO

ELECCIÓN DE COMPONENTES

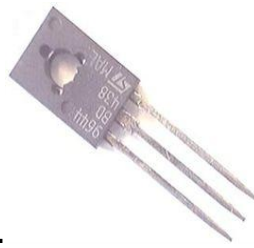


Figura 1.4.9. Transistor PNP BD438.

1.4.5.3 Circuito del controlador de los LEDS

Se trata de una fuente de corriente controlada por los pulsos de salida del 555 que actúa como controlador del ancho del pulso. En la figura 1.4.10 se puede ver el esquema eléctrico.

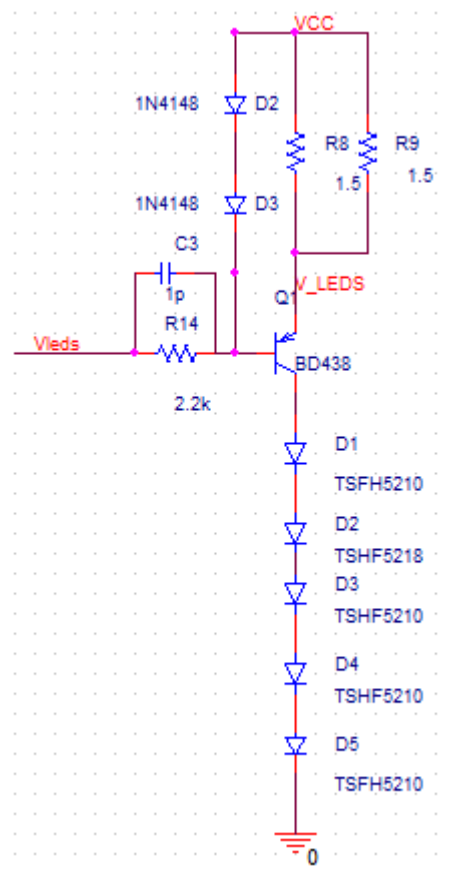
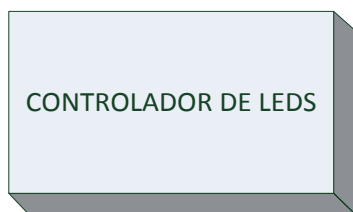


Figura 1.4.10 Esquema eléctrico del controlador de LEDs.

Cuando al transistor le llega una señal a nivel alto este está en su estado de

corte por tanto funciona como un interruptor abierto y cuando le llega una señal a nivel bajo el transistor está en la zona activa por lo que:

$$V_{cc} - V_{LEDs} = 0,7 V \text{ por lo que } I_e = I_c = 0.93 A \quad (1.4.8)$$

1.4.6 ELECCIÓN DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN DEL EMISOR

La fuente seleccionada es la RS-25-12 véase la figura 1.4.11. Esta fuente ha sido elegida por sus especificaciones técnicas. Tiene una entrada de 230 Vac, una salida de 12 Vdc para alimentar al emisor. La corriente máxima que entrega es de 2.1 A, mayor que el amperio de pico que demanda el sistema.



Figura 1.4.11 Fuente de alimentación RS-25-12

1.4.7 ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL CAPTADA EN EL RECEPTOR

Se necesita recibir la señal infrarroja del emisor. Esta señal se capta a mediante un fotodetector que transforma la luz recibida en corriente.

1.4.7.1 Elección del fotodetector

La elección del fotodetector debe ser adecuada para recibir la señal integra emitida por el emisor para ello se tiene que cumplir que:

$$\lambda_p(\text{fotodetector}) \approx \lambda_p(\text{led})$$

Las especificaciones técnicas del fotodetector se muestran en la tabla 1.4.2.

PFC: ENLACE OPTOELECTRÓNICO DE AUDIO

ELECCIÓN DE COMPONENTES

	T_R	ANGLE	λ_p
BPW24R	7ns	+ -12°	900nm

Tabla 1.4.2. Comparativa de los fotodetectores seleccionados.

Especificaciones técnicas utilizadas en la elección del fotodetector:

T_R : Rise Time, es el tiempo de subida del fotodetector.

ANGLE: Ángulo, es el ángulo de recepción del fotodetector.

λ_p : Es la longitud pico de onda en la recepción de luz del fotodetector.

El fotodetector seleccionado es el fotodiodo BPW24R puesto que es muy rápido en el tiempo de subida, tiene un ángulo de emisión de 12° lo que le convierte en un fotodiodo muy directivo y tiene una λ_p de 900nm que es muy próxima a los 890nm de la λ_p del LED IR.



Figura 1.4.12. Fotodiodo BPW24R.

1.4.7.2 Circuito acondicionamiento de la señal captada en el receptor

En la figura 1.4.13 se muestra la primera etapa del receptor. La señal procedente del emisor es captada por el fotodiodo BPW24. Este tiene que ser polarizado en inversa. Cuando la luz de los LEDs IR incide sobre el fotodiodo, este genera una pequeña corriente que es convertida a tensión mediante un amplificador de transimpedancia.

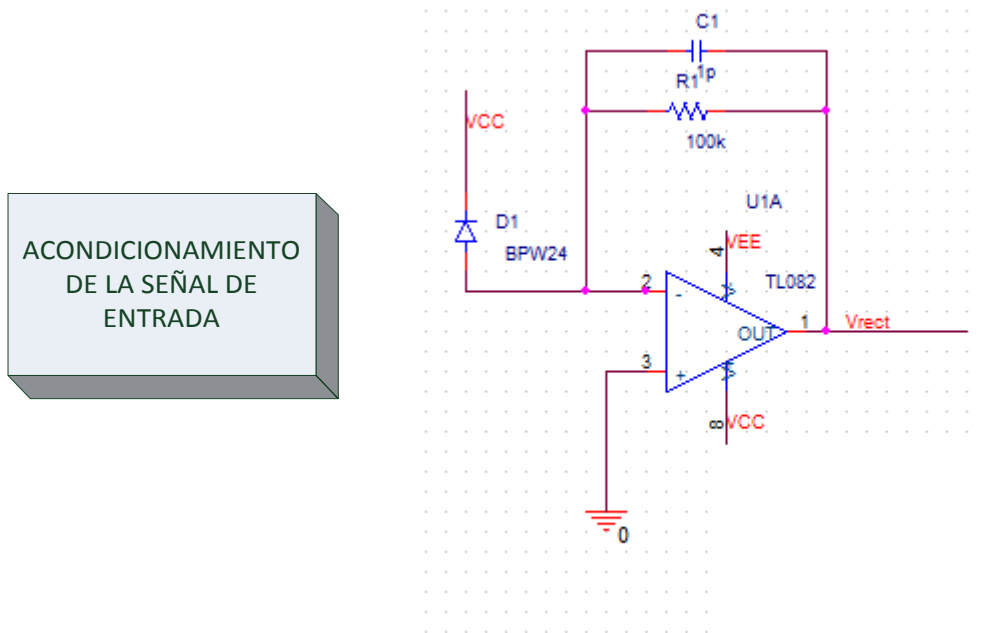


Figura 1.4.13. Esquema eléctrico del acondicionamiento de la señal de entrada.

A continuación se muestran las expresiones de la etapa para convertir la corriente en tensión.

$$V_{out} = -R1 \times I_{in} \quad (1.4.9)$$

C1: Condensador de compensación.

1.4.8 DEMODULADOR

Para realizar la demodulación FM de la señal captada en el receptor se utiliza el temporizador como demodulador de pulsos síncronos. Este circuito va a generar un impulso de duración constante cada vez que sea activado (funcionamiento monoestable), de forma que el ciclo de trabajo del tren de impulsos que se genera va a depender del periodo de la señal de entrada. Por tanto el valor medio de la tensión de salida será proporcional a la frecuencia de la señal de entrada.

$$DC = \frac{tm}{T} \quad (1.4.10)$$

$$V_{o_med} = DC \times Vp = \frac{tm}{T} \times Vp = tm \times Vp \times f \quad (1.4.11)$$

Es necesario acondicionar la señal de entrada al 555 con un filtro paso alto para eliminar la componente continua y un recortador para eliminar la parte negativa de la entrada.

En la figura 1.4.14 se presentan la etapas mencionadas anteriormente.

PFC: ENLACE OPTOELECTRÓNICO DE AUDIO

ELECCIÓN DE COMPONENTES

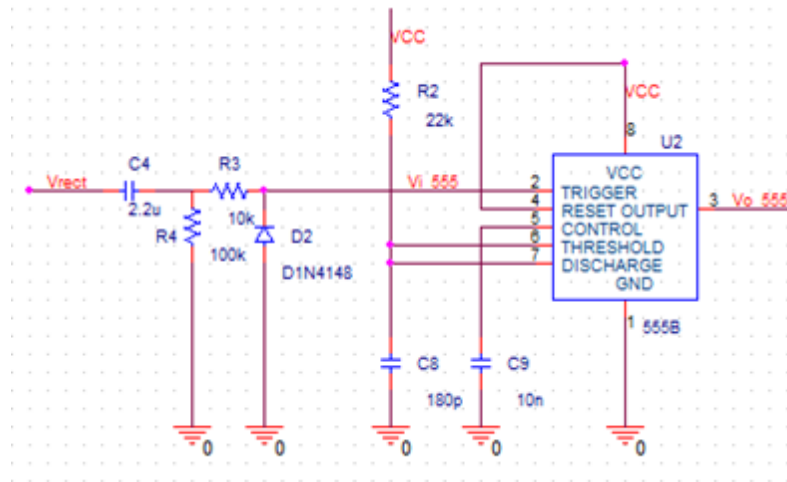


Figura 1.4.14. Esquema eléctrico del demodulador acondicionamiento de entrada y monoestable.

El tiempo de activación del monoestable viene dado por la expresión (1.4.12).

$$t_m = \ln 3 \times R2 \times C8 = 4.35 \times 10^{-6} [S] \quad (1.4.12)$$

Como se observa en la figura 1.4.15 este *monoestable* está configurado con un tiempo $t_m = 4.35 \times 10^{-6}$ véase la expresión 1.4.12. Cada vez que la señal de entrada en el monoestable baja de $1/3 V_{CC}$, traza verde, el monoestable se activa generando el pulso de tiempo t_m a nivel alto, traza roja. A medida que varía el periodo del tren de impulsos en la entrada del monoestable, dado que la anchura del impulso es constante se tiene una variación del ciclo de trabajo.

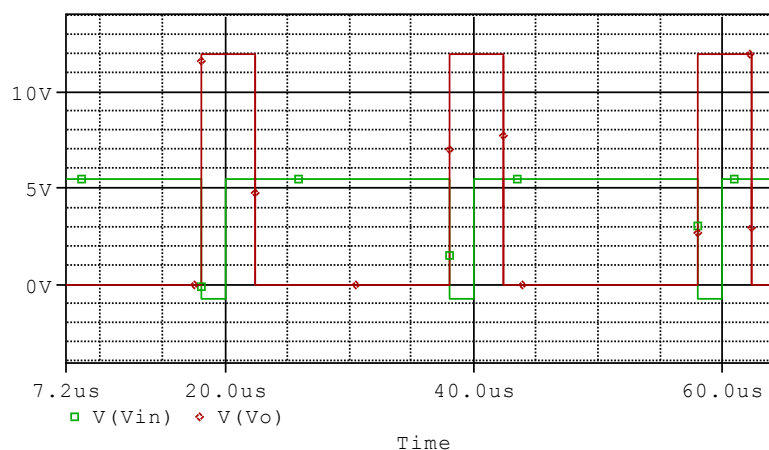


Figura 1.4.15. Formas de onda en la entrada y salida del demodulador.

A la salida del *monoestable* se genera una componente continua de valor relativamente elevado que se elimina con la red formada por $R5$ - $C5$, que es

un filtro paso alto cuya función de transferencia viene dada por la expresión 1.4.13.

$$F_c = \frac{1}{2 \times \pi \times R5 C5} = 8.85 [Hz] \quad (1.4.13)$$

Para recuperar la onda moduladora a partir de las componentes espectrales de la onda modulada se ha diseñado un filtro paso bajo de segundo orden (Sallen Key) véase la figura 1.4.16. La frecuencia de corte de este filtro es 8.85 KHz, expresión 1.4.14.

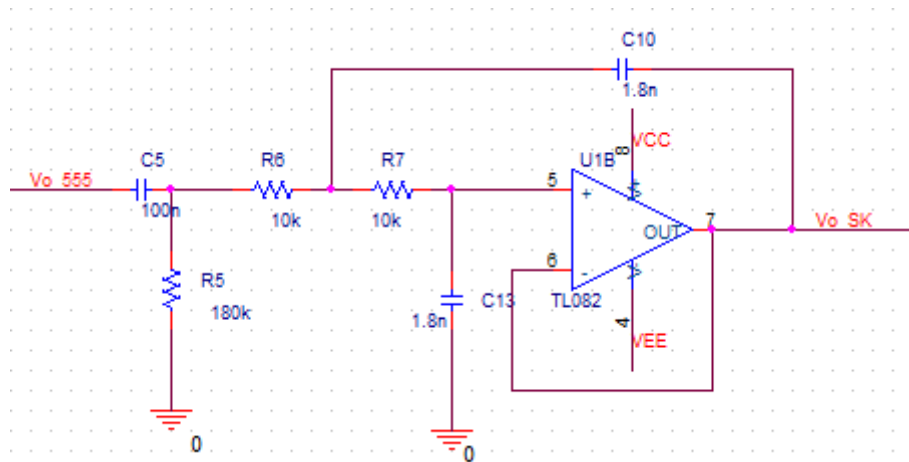


Figura 1.4.16. Esquema de los filtros del demodulador

A continuación se muestra la frecuencia de corte del filtro paso bajo de segundo orden, Sallen-Key.

$$F_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R6R7C10C13}} = 8.85[KHz] \quad (1.4.14)$$

1.4.9 AMPLIFICACIÓN DE LA SEÑAL DE SALIDA

Se ha elegido el circuito integrado LM386 para amplificar la señal y poder escucharla en un altavoz, se trata de un amplificador típico de los sistemas de audio.

En la figura 1.4.17 se observa la configuración de la etapa para dar una ganancia de 20, es decir, $V_o/V_i = 20$. La ganancia en dB se aprecia en la expresión 1.4.12.

$$Gv(dB) = 20 \log_{10} \frac{V_o}{V_i} = 26[dB]. \quad (1.4.15)$$

PFC: ENLACE OPTOELECTRÓNICO DE AUDIO

ELECCIÓN DE COMPONENTES

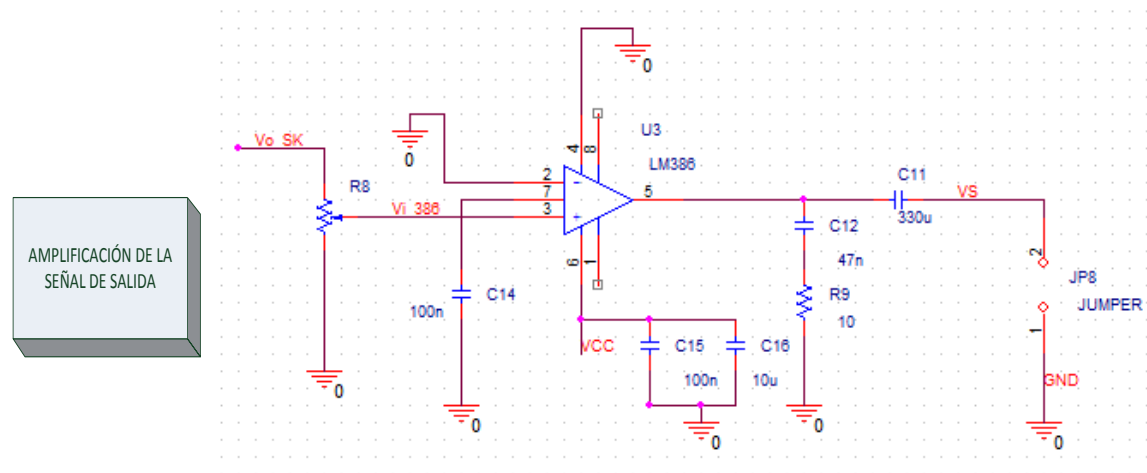


Figura 1.4.17. Esquema eléctrico de la etapa amplificadora.

A la salida de la etapa se utiliza un condensador de elevada capacidad que actúa como filtro de paso alto para eliminar la componente continua y de esta manera evitar que llegue al altavoz y lo pueda estropear.

El jumper JP8 es un conector de audio Jack hembra de 3.5 mm donde se conectará el altavoz o auriculares.

1.5 SISTEMA PROPUESTO

En este subcapítulo se muestra en detalle el sistema final desarrollado. Ha sido diseñado y simulado en el capítulo 1.4. A continuación se ha montado en una placa de pruebas donde se comprobó que el resultado real se ajustaba al simulado en nuestro diseño. En el diseño final es montado en sendas placas de circuito impreso.

1.5.1 EMISOR

En la figura 1.5.1 se presenta el esquema completo del emisor. También se puede ver este esquema en el plano número nueve del capítulo 2.

La señal de audio es recibida en el circuito con el conector JP4. Con el potenciómetro R18 se regula su amplitud. Con el A.O U1A se realiza una monitorización del sistema mediante el cual se comprueba si el sistema está saturado.

Con el A.O U1B se realiza el proceso de preénfasis.

El modulador es un temporizador 555 configurado como VCO (oscilador controlado por tensión). Las variaciones de tensión de la onda en el terminal de entrada al oscilador, el 5, se convierte en variaciones de frecuencia en el terminal de salida, la onda a la salida es cuadrada. La frecuencia configurada en el VCO para la onda portadora es de 100KHz aproximadamente.

El segundo temporizador 555 es utilizado para ajustar el ciclo de trabajo. Con la resistencia variable R7 se puede conseguir un tren de impulsos con un ciclo de trabajo aproximado del 99%. En la figura 1.5.1 se aprecia el esquema eléctrico del emisor donde se encuentran todos los componentes mencionados hasta ahora.

PFC: ENLACE OPTOELECTRÓNICO DE AUDIO ANALÓGICO

SISTEMA PROPUESTO

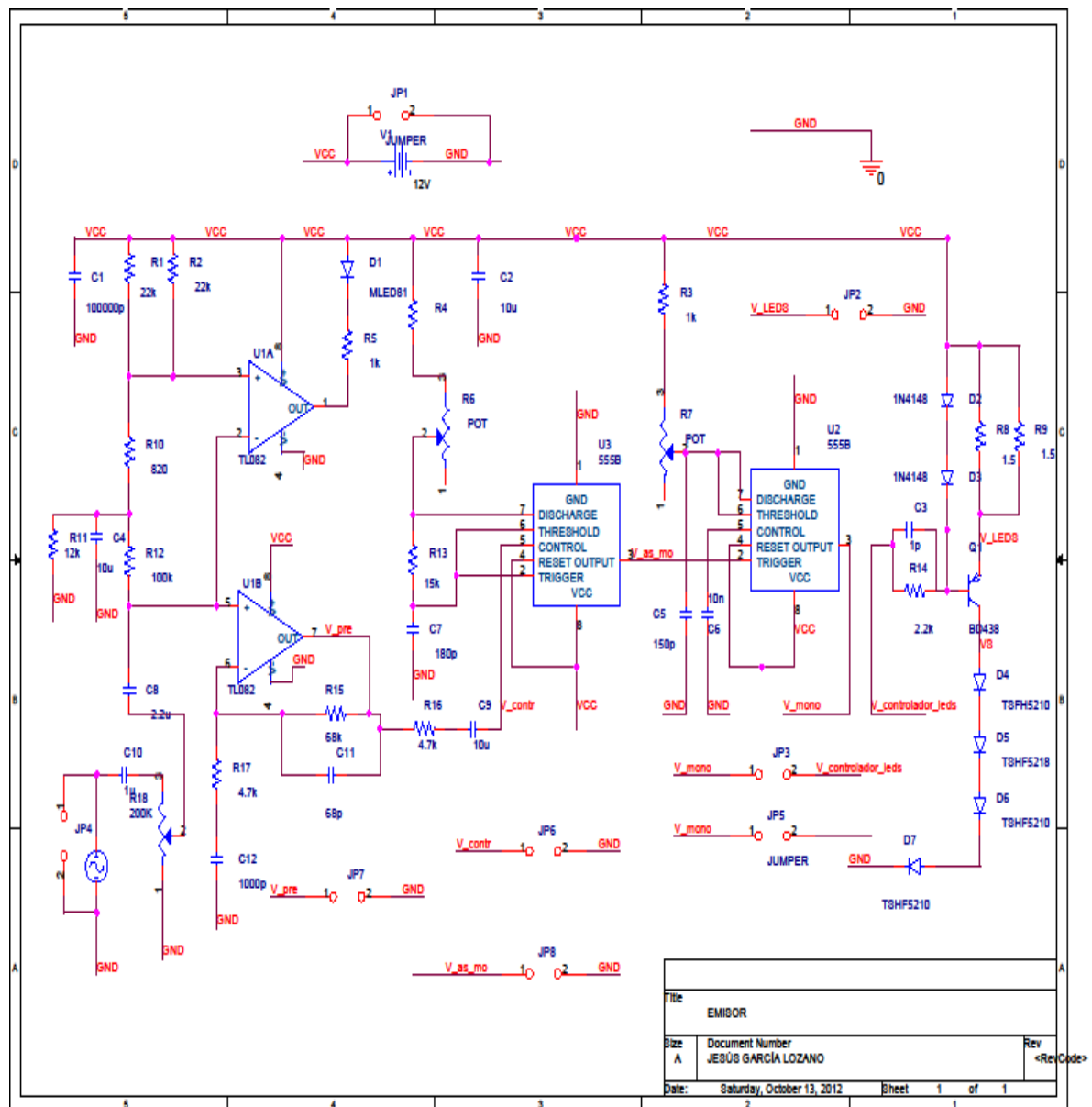


Figura 1.5.1 Esquema eléctrico del emisor.

Cuando el transistor PNP está polarizado, es decir está en zona activa, (V_{mono} a nivel bajo) se genera una corriente de 1 A que se aplica a los LEDs. Cuando el transistor está en corte (V_{mono} a nivel alto) funciona como un interruptor abierto. Los LEDs de IR son los encargados de transmitir la señal modulada.

En la figura 1.5.2 se puede observar el resultado de la simulación del circuito 1.5.1.

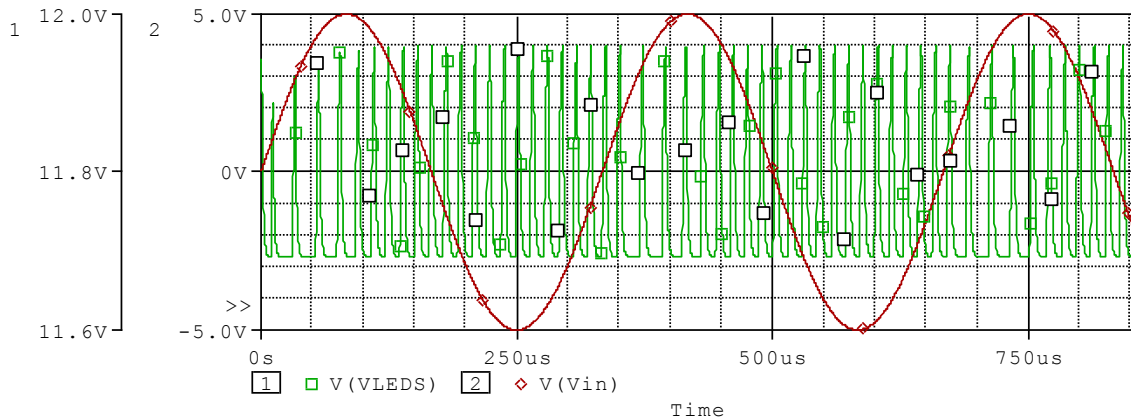


Figura 1.5.2 Formas de onda de entrada y salida del emisor.

Se observa la onda de entrada en el emisor, traza roja, es una señal senoidal con una frecuencia de 3KHz y la traza azul es la señal emitida por los LEDs con una portadora de 106 kHz.

1.5.2 RECEPTOR

En la figura 1.5.3 se muestra el circuito eléctrico del receptor completo, este esquema es el plano número 14. La luz infrarroja captada por el fotodiodo, BPW24, es convertida en corriente. Esta corriente se convierte en tensión mediante un amplificador de transimpedancia, U1A. La señal de salida es una señal cuadrada de 10 voltios de amplitud.

Con el demodulador se recupera la señal moduladora. El temporizador 555 está configurado como *monoestable* y tiene un tiempo $t_m = 4.35 \cdot 10^{-6}$ [S]. La red formada por R5-C5 es un filtro paso alto con una frecuencia de corte de 8.85Hz. Este filtro elimina la componente continua de la onda en la salida del *monoestable*.

PFC: ENLACE OPTOELECTRÓNICO DE AUDIO ANALÓGICO

SISTEMA PROPUESTO

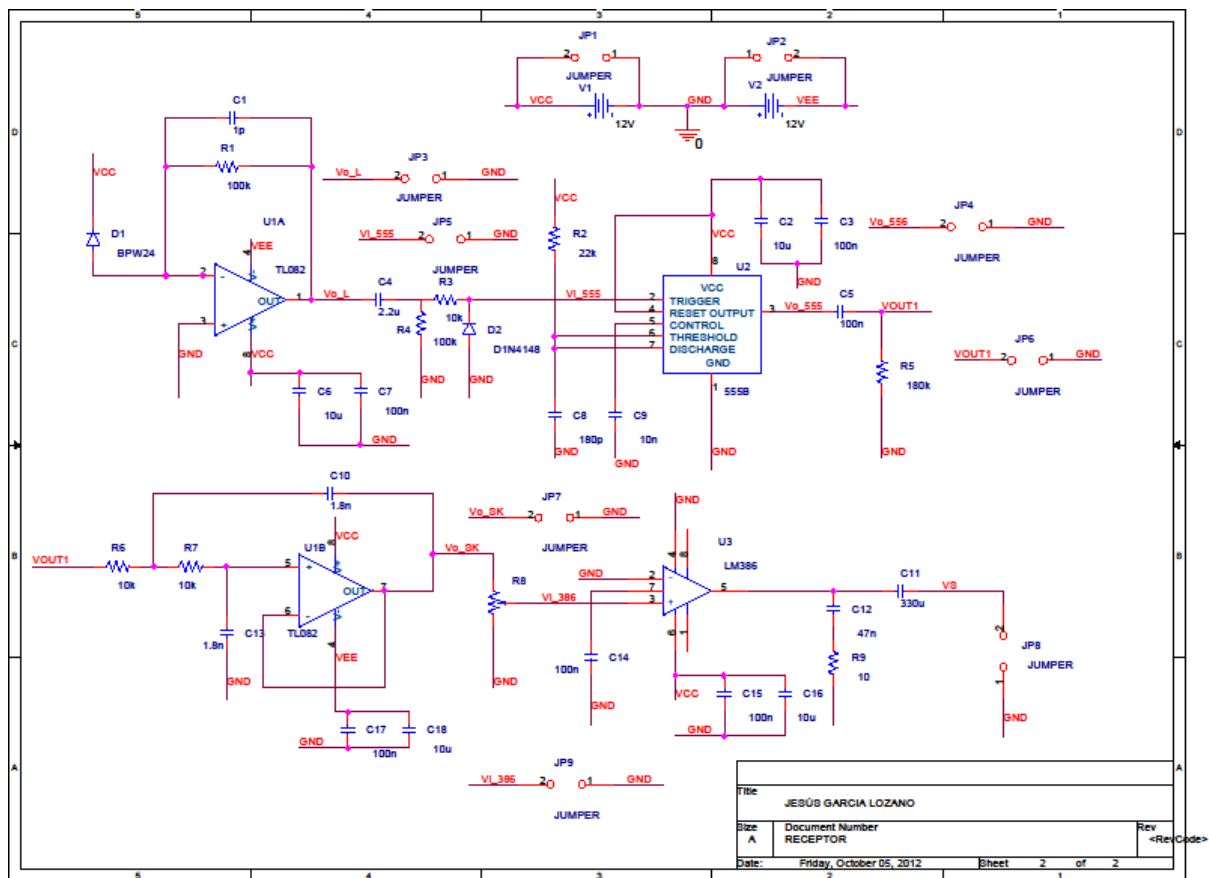


Figura 1.5.3 Esquema eléctrico del receptor.

Con el filtro Sallen key, U1B, se recupera la onda moduladora a partir de las componentes espectrales de la onda modulada. Este filtro tiene una frecuencia de corte de 8.85 KHz.

Para finalizar, la última etapa del receptor está formada por el amplificador de potencia LM386. Está configurado para tener una ganancia de 20(26 dB). A la salida de esta etapa se tiene la señal moduladora con potencia suficiente para que se pueda escuchar en un altavoz.

En la figura 1.5.4 se observan las formas de onda del receptor en un tamo de la señal.

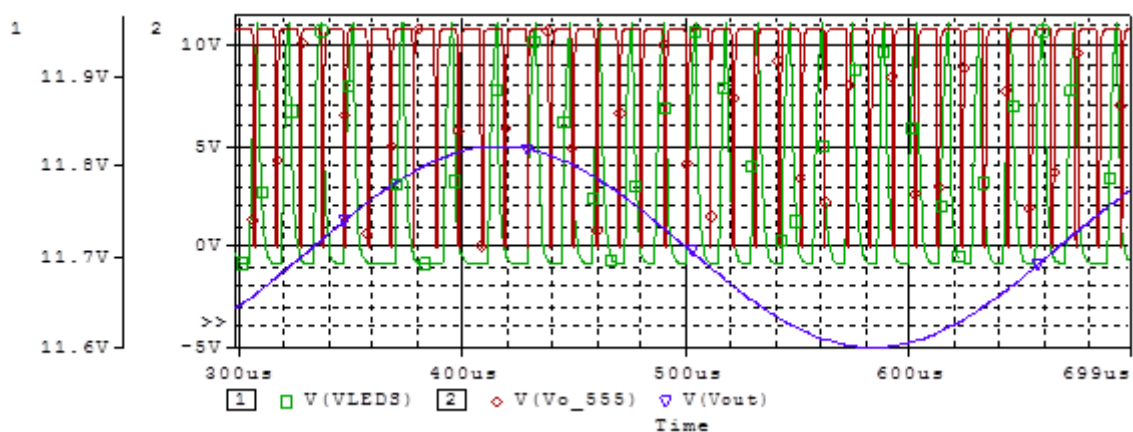


Figura 1.5.4. Formas de ondas del módulo receptor durante la subida de la moduladora

La traza verde de la figura 1.5.4 que pertenece al eje de ordenadas número 1, V(LEDs), es la señal captada en el receptor. La traza roja es la señal en la salida del demodulador de pulsos síncronos y la traza azul del eje número 2, Vout, es la señal moduladora obtenida en la salida del amplificador de potencia que tiene una frecuencia de 3KHz.

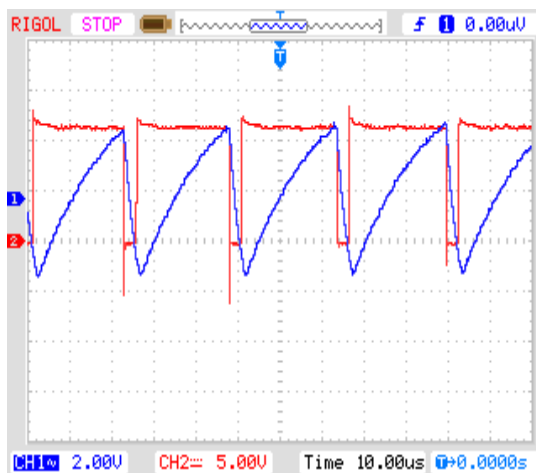
1.6 RESULTADOS EXPERIMENTALES

En este capítulo se explican los resultados experimentales obtenidos durante las pruebas de funcionamiento del sistema. Los resultados son capturas del osciloscopio que contienen formas de onda en diferentes etapas.

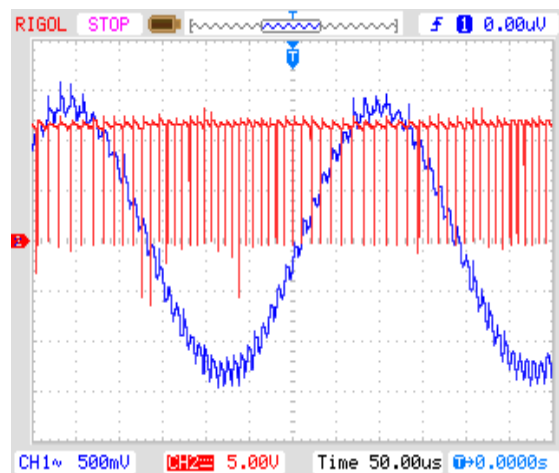
En una primera fase el montaje se realizó en una placa de inserción de componentes, en una segunda fase para dar una mayor fiabilidad y eliminar posibles interferencias y errores mecánicos de montaje, este se realizó en una placa de puntos soldada con estaño, la tercera y última fase del montaje es la fabricación de un circuito impreso para el diseño final del prototipo.

1.6.1 ETAPA DE MODULACIÓN

En la figura 1.6.1.A se muestra como el condensador del modulador C7 se carga cuando la salida del modulador está a nivel alto y se descarga cuando la onda del modulador está a nivel bajo. En la figura 1.6.1.B. se observa la entrada por el terminal de control del modulador y la salida de la onda modulada en el VCO.



A)



B)

Figura 1.6.1. A) Forma de onda de la carga y descarga del condensador c8 (traza azul) y forma de onda en la salida del modulador trabajando a 100khz (traza roja). B) Señal de entrada al modulador por el terminal de control (traza azul) para una frecuencia de 1.48khz y forma de la onda modulada en FM, frecuencia de portadora de 100khz (traza roja).

En la figura 1.6.2 se muestra la onda portadora proporcionada por el VCO a una frecuencia aproximada de 100kHz.

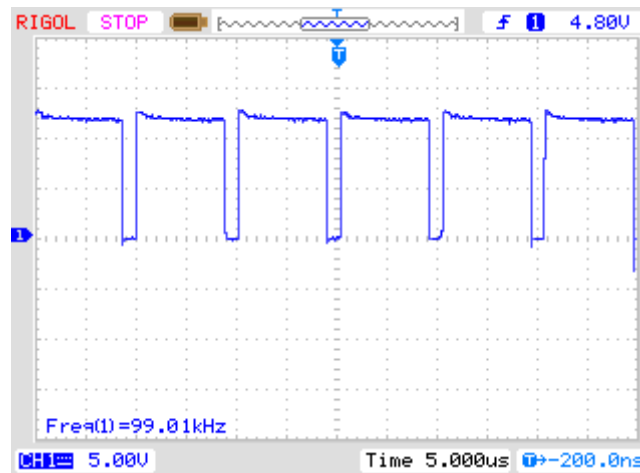


Figura 1.6.2. Forma de onda en la salida del modulador trabajando aproximadamente a 100kHz.

1.6.2 ETAPA DE CONTROLADOR DE CICLO DE TRABAJO

En las figuras 1.6.5, 1.6.6 y 1.6.7 se observa la onda portadora proporcionada por el modulador, traza roja, y el ajuste del periodo que se realiza sobre esta onda portadora, traza azul, para ajustar el ciclo de trabajo. Se realizan tres capturas con las escalas de tiempos de 1us, 2us y 5us respectivamente. Para el cálculo teórico del ciclo de trabajo se ha utilizado la expresión 1.4.7.

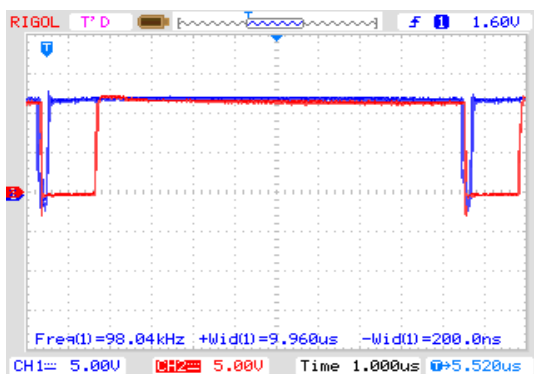


Figura 1.6.3. Forma de onda en la salida del controlador del ciclo de trabajo (traza azul) y forma de onda en la salida del modulador trabajando a 100kHz (traza roja).

PFC: ENLACE OPTOELECTRÓNICO DE AUDIO

RESULTADOS EXPERIMENTALES

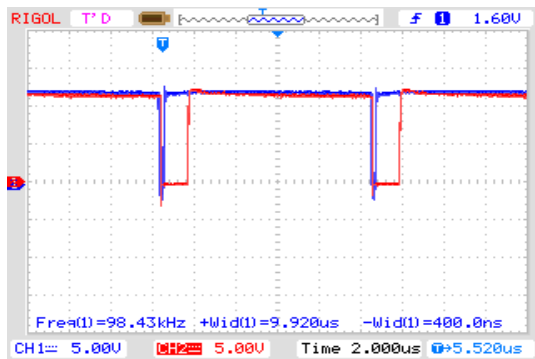


Figura 1.6.4. Forma de onda en la salida del controlador del ciclo de trabajo (traza azul) y forma de onda en la salida del modulador trabajando a 100kHz (traza roja)

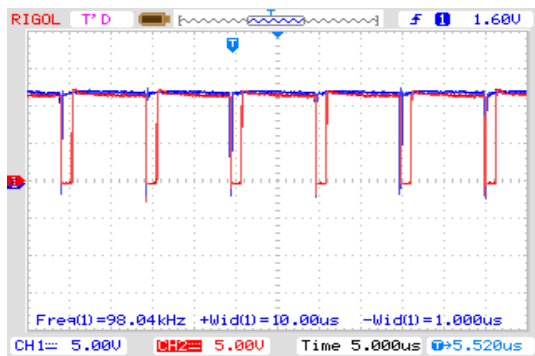


Figura 1.6.5. Forma de onda en la salida del controlador del ciclo de trabajo (traza azul) y forma de onda en la salida del modulador trabajando a 100kHz (traza roja).

En la figura 1.6.6 se muestra la onda modulada con el ciclo de trabajo del 1%, traza roja, y la onda portadora, traza azul.

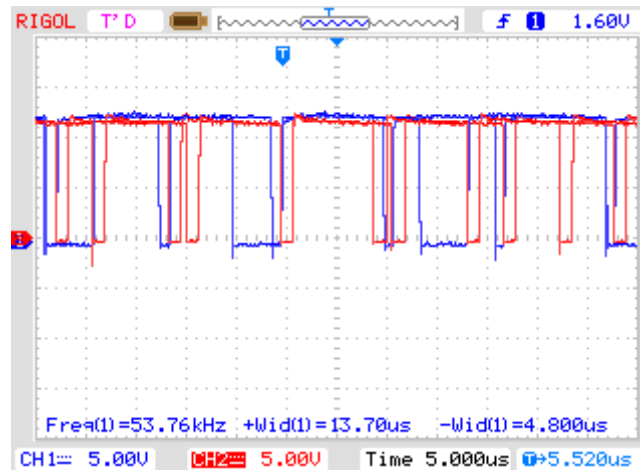


Figura 1.6.6. Forma de onda en la salida del controlador del ciclo de trabajo (traza roja) y forma de onda en la salida del modulador trabajando a 100kHz (traza azul).

1.6.3 ETAPA DE CONTROLADOR DE LEDS

En la figura 1.6.7 se muestra el funcionamiento del controlador de los LEDs. La traza azul muestra la onda en la salida del controlador del ciclo de trabajo y la traza roja los impulsos de corriente en los LEDs.

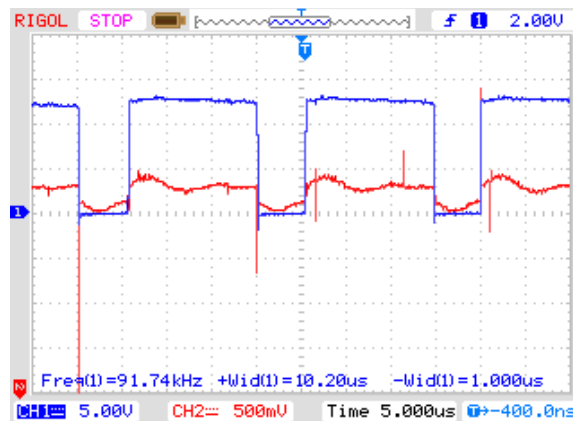


Figura 1.6.7. Se muestra la salida de LEDs traza roja. La traza azul pertenece a la salida del controlador del ciclo de trabajo.

1.6.4 ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL RECIBIDA EN EL RECEPTOR

En la figura 1.6.8. Se observa la señal recibida por el fotodiodo, traza roja, y la señal en la salida del amplificador de transimpedancia, traza azul.

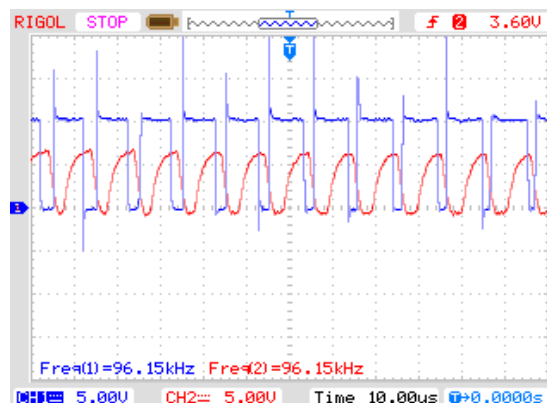


Figura 1.6.8. La traza roja muestra la señal recibida por el fotodiodo. La traza azul muestra la salida del amplificador de transimpedancia.

1.6.5 ETAPA DEL DEMODULADOR.

La figura 1.6.9. aprecia el funcionamiento del demodulador. La traza roja corresponde al terminal 2, la entrada del temporizador 555. La traza azul se corresponde con la salida del monoestable una vez eliminada la componente de corriente continua.

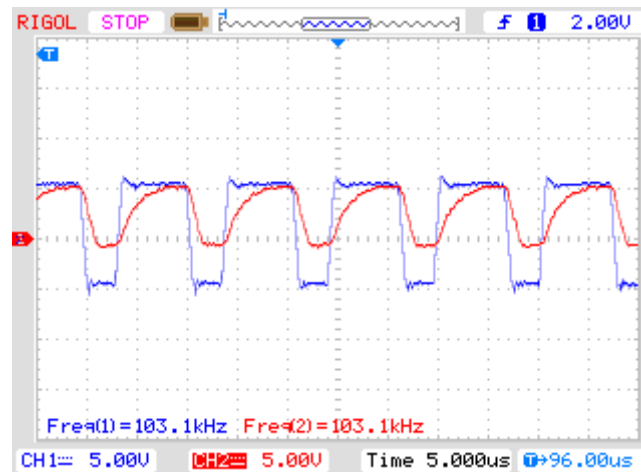


Figura 1.6.9. Formas de onda de la etapa del demodulador.

En la figura 1.6.10 se observa la salida del *monoestable*, traza azul, con la componente continua y la traza roja es la salida del filtro paso alto sin la componente continua.

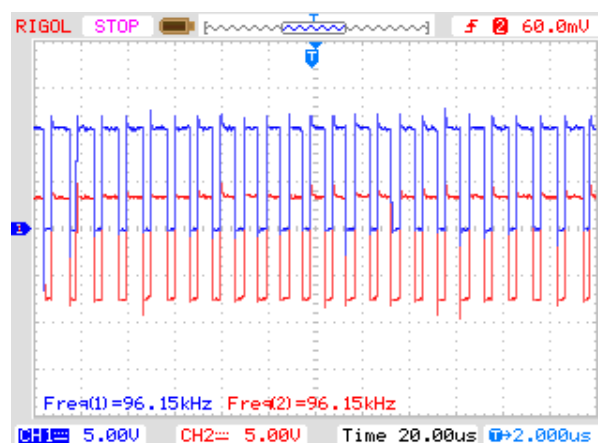
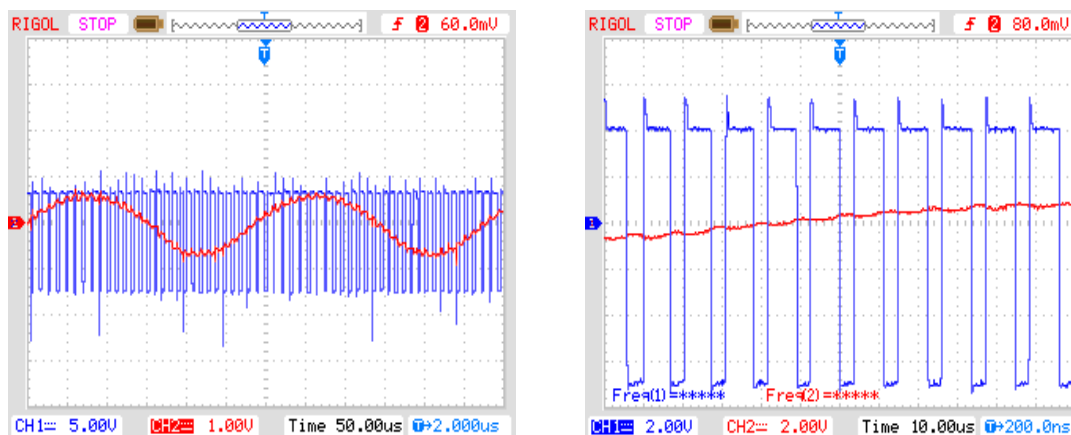


Figura 1.6.10. Se muestra la traza roja sin componente continua y la traza azul con la componente continua.

En las figuras 1.6.11 se observan las ondas de entrada (azul) y de salida del filtro Sallen-Key.



A)

B)

Figura 1.6.11.A) Traza roja onda moduladora y la traza azul onda modulada en FM. B) La traza azul la señal modulada a 100 KHz. Y la traza roja la onda demodulada .

1.6.6 ETAPA DE AMPLIFICACIÓN DE LA SEÑAL

En la figura 1.6.12 se observa como la salida del amplificador, traza roja, tiene una ganancia de 20 con respecto a la entrada del mismo, traza azul.

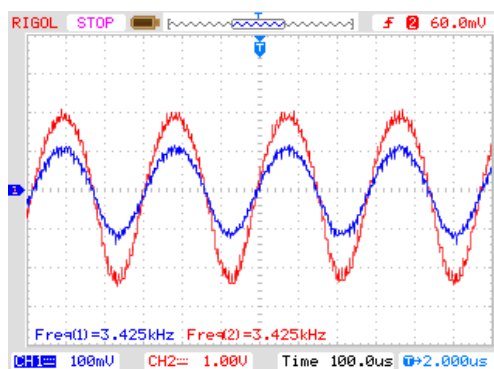


Figura 1.6.12. Forma de onda en la entrada y salida del amplificador de potencia.

1.6.7 RESPUESTA EN FRECUENCIA DEL SISTEMA

Para realizar este estudio se introduce una señal senoidal en la entrada del emisor con una amplitud determinada, se varía la frecuencia y se registra la tensión de la onda de salida para cada valor de frecuencia. En la tabla 1.5.1 se muestran los datos obtenidos, y en la figura 1.6.13 se presenta las formas de onda correspondiente a una de las mediadas realizadas.

Frecuencia (HZ)	Vop (voltios)	Vip (voltios)	V0/Vi (dB)
20	2,5	2,5	0
50	3,1	2,5	1,87
200	3,6	2,5	3,17
500	3,6	2,5	3,17
1000	3,6	2,5	3,17
2000	3,7	2,5	3,41
3000	3,6	2,5	3,17
4000	3,6	2,5	3,17
5000	3,6	2,5	3,17
6000	3,6	2,5	3,17
7000	2,9	2,5	1,29
7500	2,5	2,5	0

Tabla 1.6.1. Datos experimentales obtenidos en el estudio de frecuencia del sistema

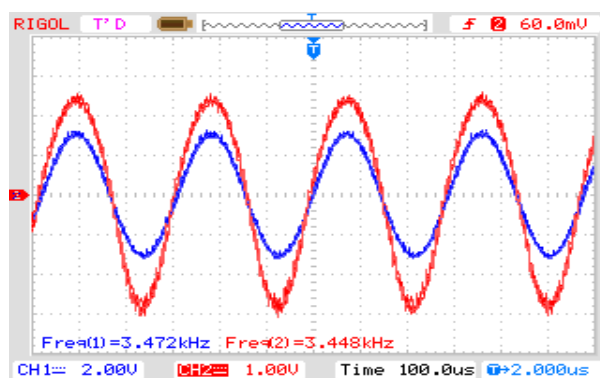


Figura 1.6.13. Formas de onda en la frecuencia de 3KHz

Como se observa en la figura 1.6.14 se ha realizado la respuesta en frecuencia del sistema comenzando en los 20 Hz y terminando en 7,5 KHz. Se puede apreciar que la respuesta del sistema es prácticamente plana, esto quiere decir que el proceso de preénfasis se compensa debido a los efectos de carga y pérdidas que existen en el sistema.

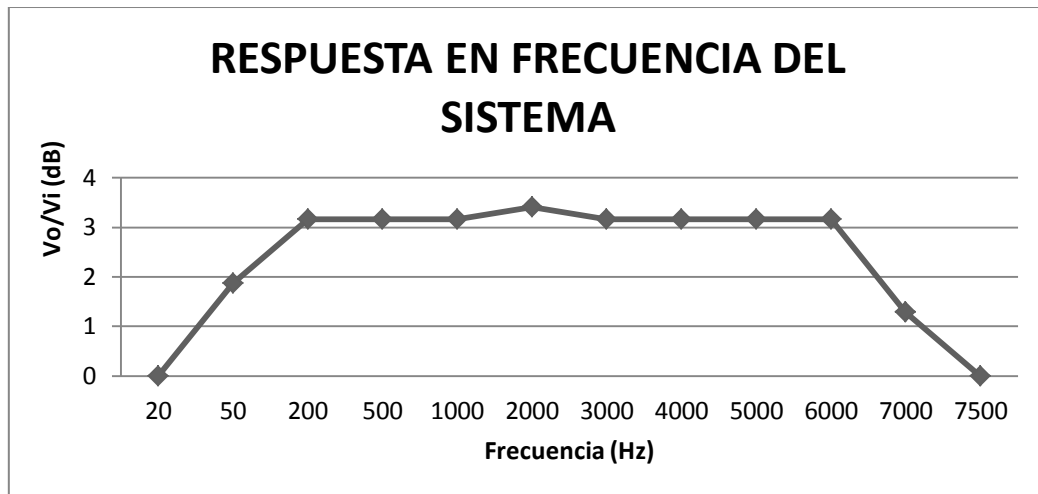


Figura 1.6.14. Respuesta en frecuencia del sistema

1.7 DISEÑO MECÁNICO

En este subcapítulo se explican como se han realizado las placas de circuito impreso, el soporte mecánico para ambos módulos y el emplazamiento de los componentes.

1.7.1 DISEÑO DE LAS PLACAS DE CIRCUITO IMPRESO

Para diseñar las placas de circuito impreso (PCB) se ha utilizado el software ORCAD Layout Release 9.2. Una vez diseñado el fotolito es impreso por los técnicos de laboratorio. A continuación se soldaban los componentes.

En la figura 1.7.1 se observa la disposición de los componentes en la PCB del emisor.

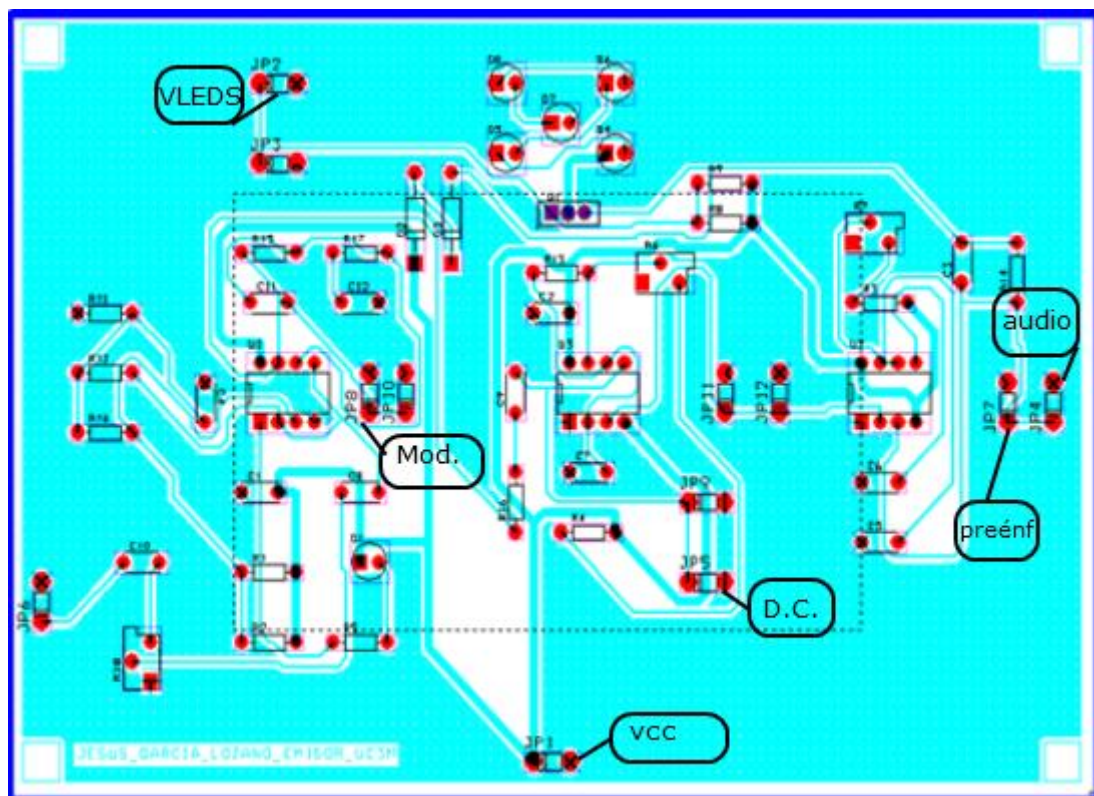


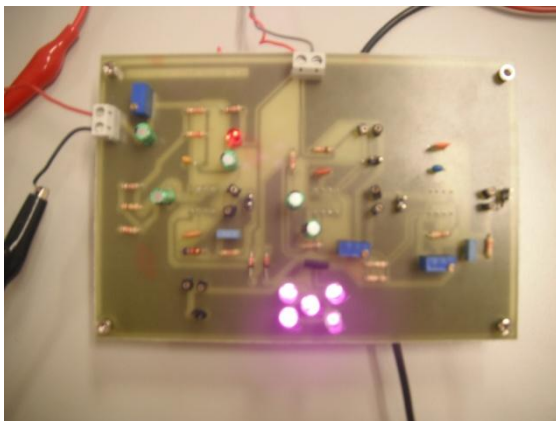
Figura 1.7.1. PCB del emisor

La señal de audio es introducida en el emisor con el conector JP4. La alimentación del sistema se realiza en el JP1. Las demás marcas de la figura

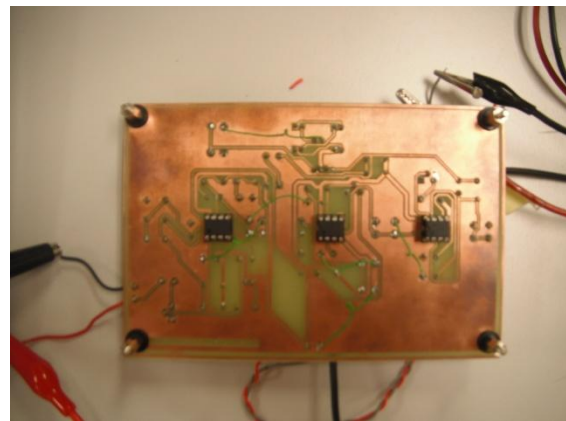
son puntos de control para medir la forma de onda de la señal.

En JP7 se mide la forma de onda de la preénfasis. En el jumper JP5 se observa el ciclo de trabajo del emisor. La forma de onda de la modulación FM se observa en el JP8 y la salida del circuito es decir la señal emitida por los LEDs se mide en JP2.

En la figura 1.7.2 se observa la PCB del emisor por sus dos caras.



A)



B)

Figura 1.7.2. A) capa TOP del circuito impreso del emisor, se aprecian dos conectores el de la izquierda de la imagen es para la entrada de audio mediante un conector Jack macho y el conector en la parte superior de la imagen es para la alimentación. B) Capa BOTTOM del circuito impreso del emisor.

En la figura 1.7.3 se observa la disposición de los componentes en la PCB del receptor.

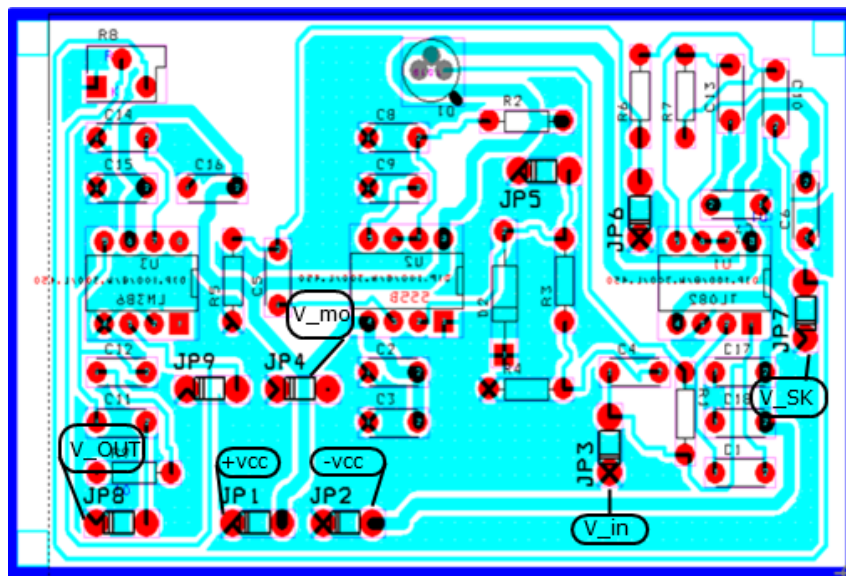


Figura 1.7.3. PCB del receptor

PFC: ENLACE OPTOELECTRÓNICO DE AUDIO

DISEÑO MECÁNICO

La alimentación simétrica del receptor se realiza con los conectores JP1 y JP2. La salida del circuito donde va conectado el altavoz es en el JP8. Las demás marcas son puntos de control donde se observan con el osciloscopio las formas de onda. En JP3 se observa la onda en la salida del amplificador de transimpedancia. La salida en el monoestable del demodulador se observa en JP4. La forma de onda obtenida en el demodulador de pulsos síncronos se puede observar en JP7.

En la figura 1.7.4 se observa la PCB del receptor.

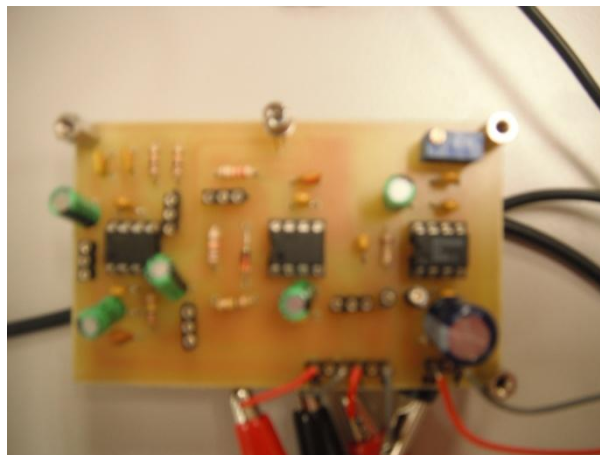


Figura 1.7.4. Circuito impreso del módulo receptor

1.7.2 SOPORTE Y EMPLAZAMIENTO DE LOS COMPONENTES

El soporte mecánico es realizado con una plancha de aluminio con un espesor de 4mm. Con el soporte mecánico terminado se realiza al emplazamiento de componentes

DISEÑO DEL SOPORTE DEL MÓDULO EMISOR.

El soporte del módulo emisor consta de tres piezas el panel frontal donde se atornillan los componentes, el pie del soporte y la base del soporte. Véase figura 1.7.5.

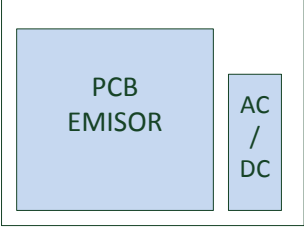
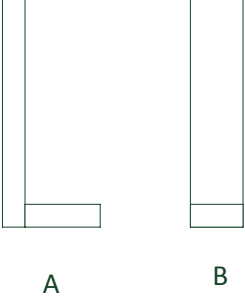

	<p>Panel frontal del módulo emisor. Las medidas son: 200x120x4 (mm). En esta lámina se atornillan los siguientes componentes del emisor:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PCB emisor. Las medidas son 150x100x3 (mm). • Fuente de alimentación. Las medidas son 90x50x35 (mm).
	<p>Pie del soporte en forma de L.</p> <p>A) Corresponde con el perfil del pie.</p> <p>B) Corresponde al alzado del pie</p> <p>Las medidas son: 30x70x4 (mm).</p>
	<p>Base del soporte del módulo emisor.</p> <p>Las medidas son: 130x130x4 (mm).</p>

Figura 1.7.5. Soporte y emplazamiento de los componentes del emisor.

La figura 1.7.6 muestra una imagen del soporte del emisor.

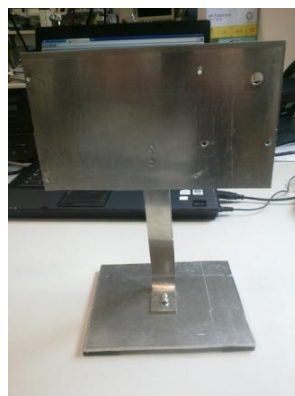


Figura 1.7.6. Imagen del soporte del emisor.

PFC: ENLACE OPTOELECTRÓNICO DE AUDIO

DISEÑO MECÁNICO

DISEÑO DEL SOPORTE DEL MÓDULO RECEPTOR.

El soporte del módulo receptor consta de tres piezas el panel frontal donde se atornillan los componentes, el pie del soporte y la base del soporte. Véase figura 1.7.7.

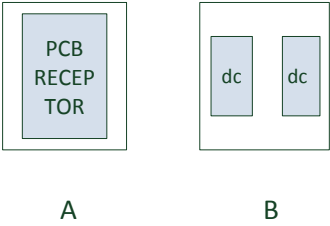
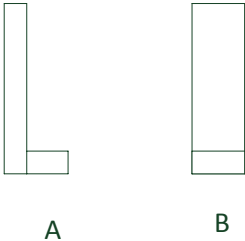

 <p>A</p> <p>B</p>	<p>Panel frontal del módulo receptor. Las medidas son 90x60x4 (mm).</p> <p>A) Corresponde es el alzado donde va atornillada la PCB del receptor cuyas medidas son 80x50x4 (mm).</p> <p>B) Corresponde con el alzado posterior del receptor. Lleva incorporado dos baterías de 9V.</p>
 <p>A</p> <p>B</p>	<p>Pie del soporte en forma de L.</p> <p>A) Corresponde con el perfil del pie.</p> <p>B) Corresponde al alzado del pie.</p> <p>Las medidas son: 30x50x4 (mm).</p>
	<p>Base del soporte del módulo emisor.</p> <p>Las medidas son: 80x80x4 (mm).</p>

Figura 1.7.7. Soporte y emplazamiento de los componentes del receptor.

La figura 1.7.8 muestra una imagen del módulo receptor.



Figura 1.7.8. Imagen del soporte del receptor.

En la figura 1.7.9 se observa una imagen de los soportes de ambos módulos.

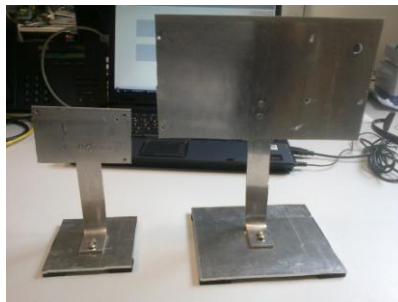


Figura 1.7.9 Imagen de los soportes de ambos módulos.

Con el soporte y la PCB construidos se emplazan los componentes. El módulo emisor contiene dos componentes la placa de circuito impreso y la fuente de alimentación. Ambos componentes se emplazan en el alzado del panel frontal véase la figura 1.7.10 para ver el emplazamiento de los componentes.



Figura 1.7.10. Prototipo del módulo emisor.

El módulo receptor contiene tres componentes a emplazar. El primero es el la placa del circuito impreso que se atornilla en el alzado véase figura 1.7.7. Los componentes restantes son dos baterías de 9V que se emplazan dentro de sendos portabaterías en el alzado posterior del receptor véase figura 1.7.11.

PFC: ENLACE OPTOELECTRÓNICO DE AUDIO

DISEÑO MECÁNICO



A)



B)

Figura 1.7.11. A) Alzado del módulo receptor se observa el altavoz conectado a la salida mediante un conector Jack hembra. B) Alzado posterior del módulo receptor.

En la figura 1.7.12. Se muestra el sistema completo funcionando. El módulo emisor es conectado mediante su conector Jack macho a la salida de audio del PC y a su vez alimentado a 12 V a través de la fuente de alimentación.

El emisor emite la señal de audio que es captada por el receptor. Esta señal es reproducida en el altavoz que está conectado a la salida del receptor mediante un conector Jack hembra. El receptor es alimentado por dos baterías de 9V. He de señalar que los LEDs y el fotodiodo están en línea recta puesto que el prototipo ha sido diseñado para que cuando estén situados a la misma altura ambos módulos la sincronización sea directa por estar alineados.



Figura 1.7.12. Prototipo funcionando

1.8 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En primer lugar mencionar que todos los objetivos se han cumplido. Se ha conseguido la transmisión de audio con luz infrarroja con componentes sencillos y fiables estudiados durante la carrera y el sistema tiene un ancho de banda de 7.5 KHz

Se tuvo en cuenta en el diseño mecánico del soporte del sistema que los LED emisores y el fotodiodo receptor estuvieran en línea recta.

La autonomía del sistema esta en torno a las 3.5 horas debido a que utiliza baterías con una capacidad de 550 mA/H y tiene un consumo el receptor de 150 mA.

El sistema queda abierto a posibles mejoras y trabajos futuros.

La primera mejora es relativa al ángulo de emisión de los LED. El sistema es muy directivo. Por ello esta mejora consiste en utilizar unos LEDs con un ángulo de emisión mayor de 10 grados, o bien realizar un montaje que produjera el ángulo de cobertura deseado.

Otra mejora del sistema consiste en la alimentación del receptor. Se podría hacer un diseño para que fuera alimentado por una batería de litio recargable y sustituir las dos pilas de 9V.

1.9 ANEXOS

En este subcapítulo se encuentran anexados apartados teóricos que explican en detalle los procesos empleados en el desarrollo del sistema.

1.9.1 PRINCIPIOS DE LA TECNOLOGIA INALÁMBRICA

DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGIA

La radiofrecuencia y la luz infrarroja (IR) son actualmente las principales partes del espectro electromagnético utilizado para transmitir información de forma inalámbrica.

Los rayos infrarrojos tienen una longitud de onda que va desde 0,7 hasta 400 μm que corresponde a una frecuencia que va desde 1THz a 400 THz. La mayor parte de la comunicación inalámbrica de hoy se basa en la radiofrecuencia, pero la comunicación por infrarrojos está siendo utilizada por las ventajas que posee con respecto a la radiofrecuencia para múltiples aplicaciones.

Desde un punto de vista de gestión del espectro, por ejemplo, IR tiene un gran ancho de banda que actualmente está en todo el mundo sin regularse. Por el contrario el espectro de la radiofrecuencia cada año está más congestionado aumentando el coste y la dificultad en la asignación de frecuencias. Otra diferencia entre la luz infrarroja y la radiofrecuencia es la inmunidad a las interferencias electromagnéticas (EMI) de la luz infrarroja.

Esto hace que los IR sea la opción preferida en entornos en los que se debe minimizar la interferencia entre dispositivos, estos entornos son lugares como los hospitales en los que resulta peligrosa la interferencia de equipos.

También presenta ventajas sobre la radio en términos de seguridad. Debido a la que la radiación no penetra paredes, lo que significa que la señal no va a traspasar el lugar donde es generado, Esto evita que la información transmitida no pueda ser interceptada desde el exterior y originar posibles escuchas.

Otras ventajas de los IR sobre la radio son las de bajo costo, el tamaño pequeño, y el consumo de energía limitado de los componentes.

Por el contrario la comunicación infrarroja es interceptada por personas y objetos, que generan una atenuación de la señal recibida. Además, los sistemas inalámbricos de infrarrojos funcionan generalmente donde otras fuentes de iluminación están presentes. En esta situación se puede generar ruido en la célula fotoeléctrica, que limita el rango del sistema, también los sistemas ópticos inalámbricos se ven afectados por la alta atenuación sufrida por la señal de cuando se transmite a través del aire, y por

fenómenos atmosféricos como la niebla y la nieve que reducen aún más el alcance del sistema.

CONFIGURACIÓN DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN IR

Los sistemas Ópticos inalámbricos para uso en interiores y exteriores pueden estar dispuestos en una serie de configuraciones dependiendo de los requisitos específicos de un sistema. En general, las topologías utilizadas para sistemas de comunicación de IR en interior se clasifican por dos parámetros: (1) la existencia de una barrera entre el transmisor y el receptor (LOS-non LOS), y (2) el grado de direccionalidad del transmisor, receptor, o ambos (dirigida, no dirigida, o híbridos) véase la figura 1.9.1.

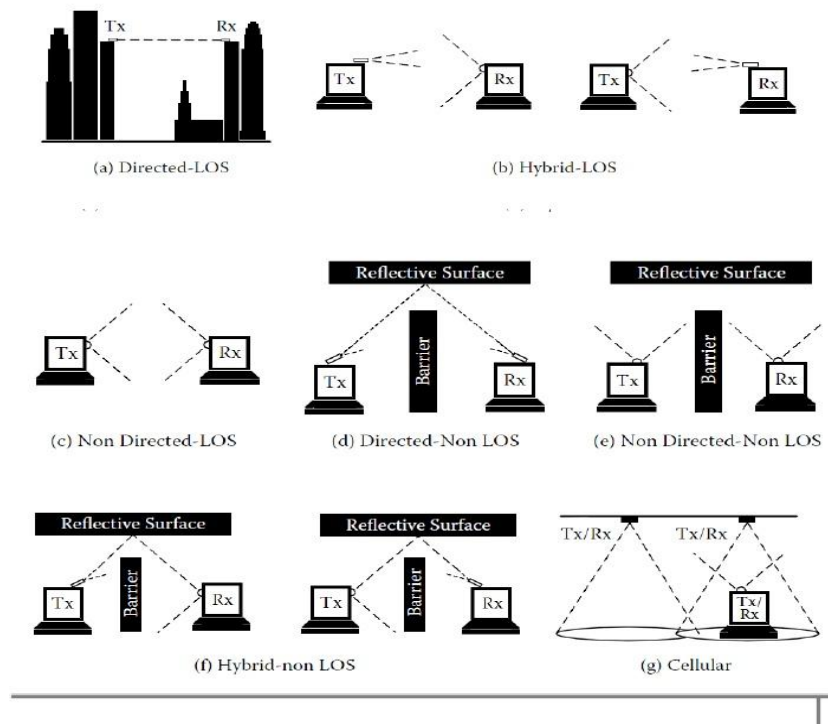


Figura 1.9.1. Configuraciones de los sistemas ópticos inalámbricos

1.9.2 PROPIEDADES, APLICACIONES, Y VENTAJAS DE LOS SISTEMAS INFRARROJOS

PROPIEDADES

La radiación infrarroja (IR) es una radiación electromagnética con una longitud de onda entre 0,7 y 300 micrómetros, lo que equivale a un rango de frecuencias aproximadamente de 1 a 430 THz. Su longitud de onda es más larga (y la frecuencia más baja) que la de la luz visible, pero su

PFC:ENLACE OPTOELECTRÓNICO DE AUDIO

ANEXOS

longitud de onda es mas corta que las ondas de radiofrecuencia. En la figura 1.9.2 se muestra el espectro electromagnético de la luz.

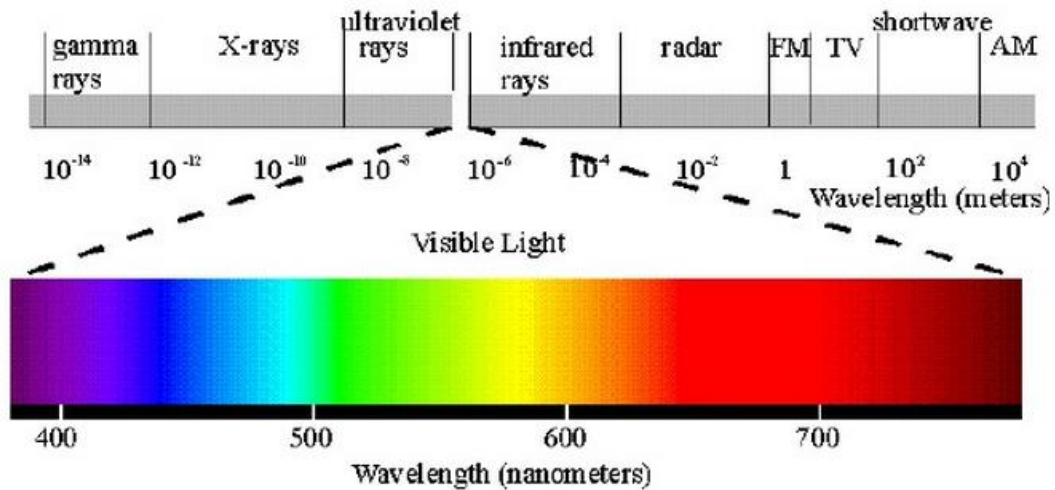


Figura 1.9.2. Espectro electromagnético de luz

Dentro del espectro infrarrojo la luz IR se comporta como la luz visible por tanto posee las mismas propiedades que las luces visibles estas son las siguientes:

- a) Reflexión.
- b) Refracción.
- c) Difracción.
- d) Difusión.

VENTAJAS SOBRE LA RADIOFRECUENCIA

- a) Espectro más amplio y no reglamentado.

Desde un punto de vista de gestión del espectro los sistemas de IR poseen un ancho de banda que no está regulado en ninguna parte del mundo. Por el contrario el espectro de radiofrecuencias está regulado en cada país y cada año está mas congestionado por ello la asignación de frecuencias de radio es difícil y costoso. Los dispositivos infrarrojos están diseñados para que se puedan utilizar en cualquier país del mundo.

- b) Alta inmunidad al ruido.

c) Inmunidad a las interferencias.

Otra de las ventajas de la IR sobre la radiofrecuencia es su inmunidad a las interferencias electromagnéticas (EMI). Esto hace que la opción preferida en ambientes donde deben reducirse al mínimo la interferencia sean los sistemas de comunicación infrarroja. Además, los sistemas infrarrojos no interfieren con los sistemas de radio frecuencia, lo cual es particularmente relevante en los hospitales.

d) Mayor seguridad.

Los sistemas infrarrojos también presentan ventajas sobre la radiofrecuencia en términos de seguridad. Debido a la que la luz infrarroja se comporta como la luz visible, que no penetra las paredes, lo que significa que la habitación donde la energía es generada encierra la señal emitida por completo (asumiendo que no hay ventanas entre las habitaciones). Esto evita que la información transmitida desde el exterior no pueda ser detectada e implica la seguridad intrínseca contra las escuchas.

e) Los sistemas IR poseen un coste muy bajo.

f) Los sistemas infrarrojos son pequeños y portátiles.

g) Los sistemas infrarrojos tienen un consumo de energía limitado.

Con estas propiedades los sistemas de comunicación infrarroja son utilizados en múltiples aplicaciones y se está desarrollando y mejorando sus características constantemente. Uno de estos componentes es el diodo emisor de luz (LED) que se está convirtiendo en la opción preferida para corta distancia en aplicaciones optoelectrónicas.

DESVENTAJAS SOBRE LA RADIOFRECUENCIA

a) Comunicación directa.

Los enlaces ópticos inalámbricos son susceptibles al bloqueo de personas y objetos, que pueden provocar la atenuación de la señal recibida o la interrupción del vínculo. Es decir, Los sistemas inalámbricos de infrarrojos funcionan sólo en línea directa.

b) Menor alcance.

Los sistemas inalámbricos de infrarrojos suelen operar en ambientes donde otras fuentes de iluminación están presentes. Esta iluminación de fondo tiene parte de su energía en la región espectral utilizado por los sistemas inalámbricos de infrarrojo reduciendo su alcance. Los sistemas ópticos inalámbricos también se ven afectados por los fenómenos atmosféricos que pueden atenuar la señal emitida cuando la transmisión se opera al aire libre.

- c) Las restricciones en la potencia óptica emitida para la seguridad en el ojo humano.

APLICACIONES.

- a) Filtro infrarrojo.

Los filtros de infrarrojos tiene como función bloquear el espectro de luz visible, estos filtros son utilizados por sistemas de visión nocturna o visión artificial para los cuales utilizan para su iluminación la luz infrarroja. Estos filtros están contruidos de un plástico llamado polisulfona que bloquea más del 99% del espectro de la luz visible. Actualmente en uso en todo el mundo, los filtros infrarrojos se utilizan en la visión militar, visión nocturna, Industrial y aplicaciones comerciales.

- b) La termografía.

La radiación infrarroja se puede utilizar para determinar de forma remota la temperatura de los objetos. Esto se denomina termografía, o en el caso de objetos muy calientes se denomina pirometría. La termografía (imagen térmica) se utiliza principalmente para aplicaciones militares e industriales, pero la tecnología está llegando al mercado público mediante cámaras infrarrojas en los coches debido a la reducción en los costes de producción.

- c) Seguimiento.

Seguimiento por infrarrojos, también conocido como infrarrojos homing, se refiere a un sistema el cual es un guía pasivo de misiles. Los misiles que utilizan la búsqueda por infrarrojos se refieren a menudo como "buscadores de calor", ya que la luz infrarroja se encuentra justo debajo del espectro visible de luz y es radiada fuertemente por los cuerpos calientes.

- d) Calefacción por infrarrojos.

La radiación infrarroja se puede utilizar como una fuente de calentamiento deliberado. Por ejemplo se utiliza saunas infrarrojas para calentar a los ocupantes, para quitar el hielo de las alas de aeronaves o calentar grandes superficies como los campos de fútbol.

- e) Comunicaciones.

La transmisión de datos también se emplea en comunicaciones de corto alcance entre los ordenadores portátiles y móviles. Estos dispositivos por lo general se ajustan al estándar de comunicación IRDA, la Asociación de Datos Infrarroja. Los controles remotos y dispositivos IRDA diodos emisores de luz (LEDs) que emiten radiación infrarroja. El haz se modula, es decir, la señal original se convierte en una onda cuadrada codificada donde activa o desactiva la emisión de señal infrarroja. El receptor de datos utiliza un fotodiodo de silicio para convertir la radiación infrarroja a una corriente

eléctrica. El receptor responde sólo a la señal TTL creada por el emisor, y filtra la luz visible del ambiente que pueda interferir. La señal infrarroja no penetra en las paredes y así no se interfiere con otros dispositivos en las habitaciones contiguas. La comunicación infrarroja es la forma más común para controlar remotamente un equipo domestico como es el televisor.

1.9.3 PREÉNFASIS Y DEÉNFASIS

Se logra una mejoría en la relación S/N si antes de la modulación se acentúan (preénfasis) las altas frecuencias con una disminución correspondiente en el receptor (deénfasis) después de la etapa demoduladora. Véase la figura 1.9.3.

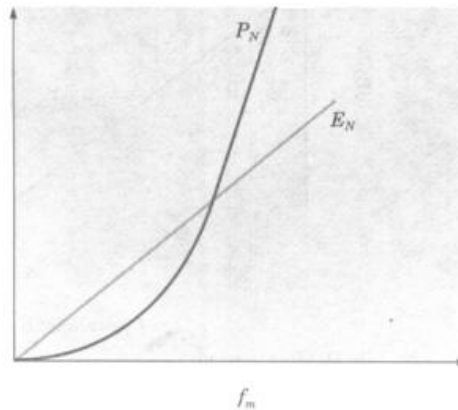


Figura 1.9.3. Espectro del ruido demodulado en un sistema de FM sin deénfasis

Esencialmente, la red de preénfasis permite que las señales moduladoras de alta frecuencia modulen la portadora a un nivel más alto y, por lo tanto, causen más desviación de frecuencia que la que sus amplitudes originales hubiesen producido. Las señales de alta frecuencia se propagan por el sistema a un nivel elevado (desviación de frecuencia incrementada). En la figura 1.9.4 se muestra la relación señal/ruido.

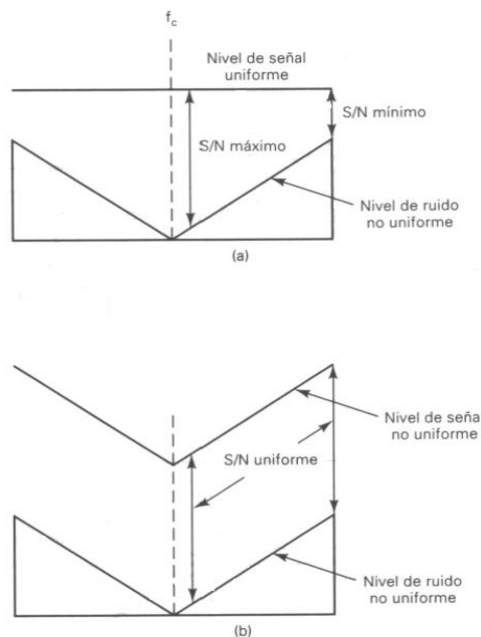


Figura 1.9.4. Relación señal ruido a) sin preénfasis b) con preénfasis

A pesar que la FM tiene cualidades de rechazo de ruido superiores, el ruido altera una señal de FM. Esto es en particular cierto para los componentes de alta frecuencia en la señal moduladora. Puesto que el ruido consiste principalmente en puntas estrechas de energía, tiene un número considerable de armónicas y otros componentes de alta frecuencia. Estas altas frecuencias en ocasiones pueden ser de una amplitud mayor que el contenido de alta frecuencia de la señal moduladora. Lo anterior produce una forma de distorsión de frecuencia que puede hacer ininteligible la señal.

La mayor parte del contenido de energía de una señal moduladora, en particular la voz, está en frecuencias más bajas. En los sistemas de comunicaciones de voz, el ancho de banda de la señal moduladora se limita deliberadamente a un máximo aproximado de 3.5 KHz. La voz sigue siendo inteligible a pesar de las limitaciones del ancho de banda. Después de todo, los teléfonos hacen el corte en 3 KHz. y proporcionan buena calidad de voz. Sin embargo, la música sufriría una severa distorsión por un ancho de banda tan estrecho como éste, ya que tiene componentes de alta frecuencia necesarios para la alta fidelidad.

Sin embargo, estos componentes de alta frecuencia en general son de amplitud más baja. Por ejemplo, los instrumentos musicales suelen generar sus señales a bajas frecuencias, pero contienen muchos armónicos de nivel inferior que les dan sonido único. Si es necesario preservar el sonido, entonces deberán hacerse pasar los componentes de alta frecuencia. Por ello los sistemas de sonido de alta fidelidad tienen un ancho de banda tan amplio. Puesto que estos componentes de alta frecuencia están en un nivel muy bajo, el ruido puede borrarlos.

Para resolver este problema, la mayoría de los sistemas de FM emplean una técnica llamada preénfasis, que permite contrarrestar la interferencia por ruido a alta frecuencia.

Para compensar este aumento, las señales de alta frecuencia son atenuadas o desenfatisadas en el receptor después de que se ha realizado la demodulación. Deénfasis es el recíproco de preénfasis. Con este proceso se restaura las características originales de la onda moduladora.

1.9.4 MODULACIÓN FM

La frecuencia modulada (FM) o modulación de frecuencia es una modulación angular que transmite información a través de una onda portadora variando su frecuencia. En aplicaciones analógicas, la frecuencia instantánea de la señal modulada es proporcional al valor instantáneo de la señal moduladora. Datos digitales pueden ser enviados por el desplazamiento de la onda de frecuencia entre un conjunto de valores discretos, una modulación conocida como FSK.

La modulación FM es usada comúnmente en las radiofrecuencias de alta frecuencia por su fidelidad a la radiodifusión de la música y el habla. El sonido de la televisión analógica también es difundido por medio de FM.

MODULACIÓN EN FRECUENCIA CONTRA MODULACIÓN EN AMPLITUD

La modulación en frecuencia (FM) se utiliza en los sistemas de radio por microondas en lugar de la modulación en amplitud (AM), porque las señales de modulación de amplitud son más sensibles a procesos no lineales de la amplitud, inherentes en amplificadores de microondas de banda ancha. Las señales de frecuencia modulada son relativamente insensibles a este tipo de distorsión no lineal y pueden ser transmitidas a través de amplificadores que tienen amplitud no lineal con pocas penalizaciones. Además, las señales de FM son menos sensibles al ruido aleatorio y se pueden propagar con menos potencia de transmisión.

Un factor principal al diseñar sistemas de radio de FM es el ruido de ínter modulación. En los sistemas de AM, el ruido de ínter modulación es una función de la amplitud de la señal, pero en los sistemas de FM es una función de la amplitud de la señal y de la magnitud de la desviación de frecuencias. Así, las características de la señal de frecuencia modulada son más aptas para las transmisiones por microondas que la señales de amplitud modulada.

La modulación FM produce una alta relación señal a ruido (SNR) cuando se recibe una señal de moderada intensidad, lo cual significa mejor sensibilidad en los receptores, La recepción está prácticamente exenta de ruido. Todo ruido, cualquiera que sea su origen, modula o varía la amplitud de una onda

vijera de RF, razón por la cual los receptores de AM son muy susceptibles a los ruidos e interferencias provenientes de electrodomésticos, automóviles, aviones, luces, etc.

1.9.5 TEMPORIZADOR 555

FUNCIONAMIENTO DE UN TEMPORIZADOR 555 EN MODO *MONOESTABLE*

El 555 en modo *monoestable*, funciona de la siguiente manera cuando recibe una señal de entrada, y después de un tiempo T éste vuelve a su estado normal. En la figura 1.9.5 se puede observar la configuración del 555 en modo monoestable.

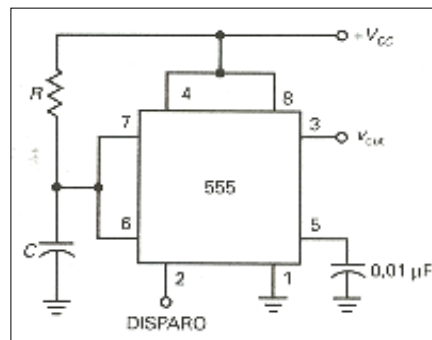


Figura 1.9.5. Configuración de un temporizador 555 en modo monoestable.

Como se puede observar, al temporizador se le conectan 3 elementos externos, 2 capacitores y una resistencia.

En la figura 1.9.6. Se muestra la configuración del *monoestable* desde el punto de vista interno, al partir del cual se explicará su funcionamiento.

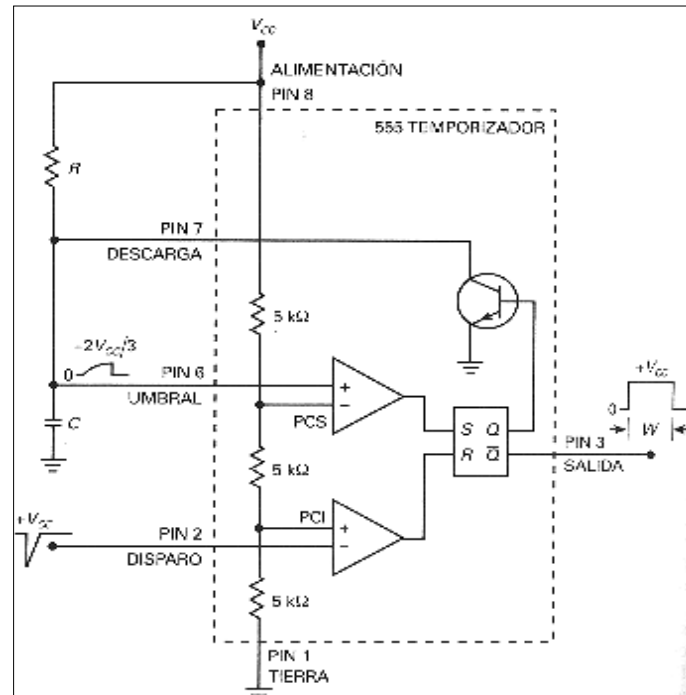


Figura 1.9.6. Conexión Monoestable vista desde su circuito interno

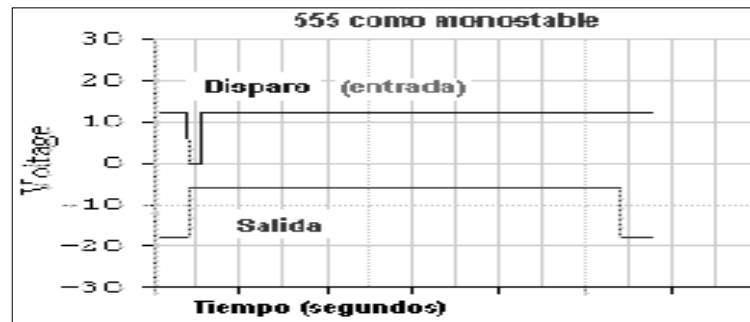
En este diagrama funcional simplificado se puede observar 2 A.O, los cuales determinan un punto de conmutación para poder enviar una señal de salida que active una de las entradas del Flip-Flop. Los puntos de conmutación se determinan con las siguientes expresiones:

$$PCS = 2 \frac{V_{cc}}{3} \quad (1.9.1)$$

$$PCI = \frac{V_{cc}}{3} \quad (1.9.2)$$

Estos puntos de conmutación determinan la cantidad de voltaje necesario para activarse.

Inicialmente Q está a nivel alto, lo que satura el transistor NPN y descarga el capacitor, lo que hace que Q' esté a nivel bajo. Cuando se pone una entrada de disparo, la cual es negativa, el PCI se activa poniendo a Q' a nivel alto y Q a nivel bajo, lo que corta el NPN y provoca que el capacitor se cargue a través de la resistencia, eso será lo que de el tiempo de retardo. Cuando el voltaje da carga del capacitor sea mayor del PCS, anteriormente establecido por la fórmula, el A.O del PCS dará un uno a su salida y pondrá a Q a nivel alto, y por lo tanto a Q' a nivel bajo. Lo que satura el transistor y descarga al capacitor. Entonces el 555 se mantiene así hasta que vuelva a poner una entrada de disparo. En la figura 1.9.7 se observan las formas de onda del monoestable.



Fura 1.9.7. Formas de onda de un 555 como monoestable.

La expresión para calcular el tiempo T de retardo es:

$$T = Ln3 \times R \times C \quad (1.9.3)$$

FUNCIONAMIENTO DE UN TEMPORIZADOR 555 COMO VCO

En este modo de funcionamiento, el 555 tiene un voltaje de referencia para PCS (Punto de conmutación superior) diferente. Ahora en vez de ser un capacitor, es un potenciómetro. Sucede que ahora, la frecuencia podrá ser variada en base a un voltaje que se tome de referencia a través de R. Esta configuración es denominada VCO (*por sus siglas en inglés: Voltage Controlled Oscillator*).

En la figura 1.9.8 se muestra el esquema de conexión exterior del VCO.

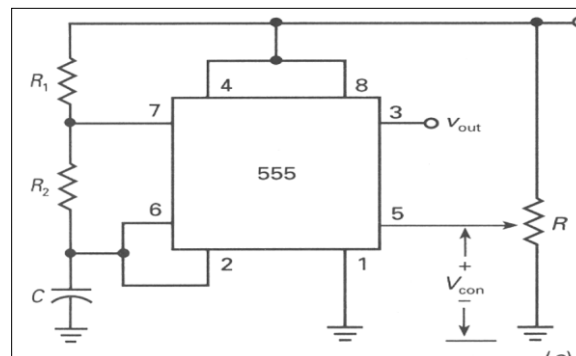


Figura 1.9.8: Configuración VCO.

De esta manera mencionar que, el capacitor que se le conecta en el pin 5, en sus modos *monoestable* y *aestable*, sirve para 2 funciones básicas: una es la de tomar un voltaje de referencia para PCS, además de las resistencias internas, y la otra la de filtrar la señal de salida, ya que si le variamos dicho capacitor podríamos notar como la señal se va transformando.

Las variaciones de tensión producidas en la resistencia variable producen variaciones de frecuencia en la onda de salida.

1.9.6 EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL

Un amplificador operacional diferencial de tensión (A.O), está compuesto por un circuito con dos transistores T1 y T2 y una fuente de corriente constante en el emisor común. Se supone que aplicando en ambas bases una tensión idéntica V_s , en modo común, las corrientes en las bases serán idénticas, $I_{b1} = I_{b2}$ por lo tanto la corriente en los emisores es idéntica. Así, $I_e = I_1 + I_2$. Los datos mencionados se observan en la figura 1.9.9.

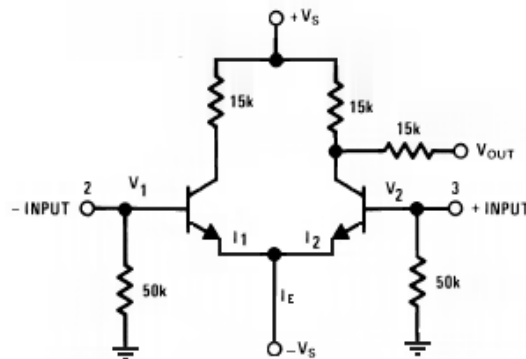


Figura 1.9.9. Esquema interno del amplificador operacional.

Si ahora se incrementa en la misma cantidad la tensión de entrada, el sistema permanecerá en equilibrio ya que la corriente I_e permanece inalterable por la fuente de corriente constante. En otras palabras, en modo común la ganancia es nula.

Un amplificador operacional (A.O.), es un amplificador de alta ganancia directamente acoplado, que en general se alimenta con fuentes positivas y negativas, lo cual permite que obtenga excursiones tanto por arriba como por debajo de masa o punto de referencia que se considere. Se caracteriza especialmente por que su respuesta en, frecuencia, cambio de fase y alta ganancia que se determina por la realimentación introducida externamente. Por su concepción, presenta una alta impedancia (Z) de entrada y muy baja de salida.

MODELO IDEAL DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL

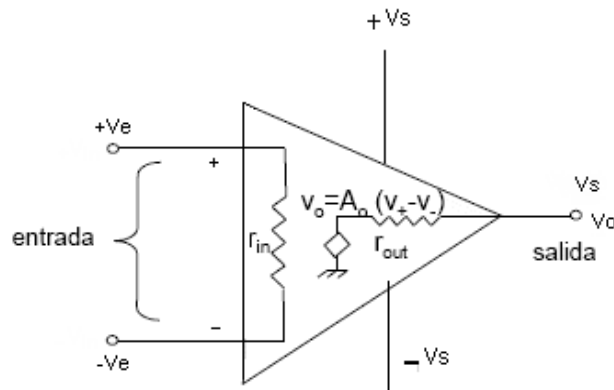


Figura 1.9.10 Modelo ideal del amplificador operacional.

En la figura, se observan dos patillas de alimentación bipolar (+Vs y -Vs), una entrada no inversora (+Ve), una entrada inversora (-Ve) y una de salida (Vout), algunos como el LM386, disponen de una patilla de bypass. El amplificador sólo responde a la diferencia de tensión entre los dos terminales de entrada, no a su potencial común. Es decir, la misión del A.O. es amplificar la diferencia de tensión entre las dos señales de entrada, respecto de masa.

Ganancia en lazo abierto.

Cuando se aplica una señal a la entrada, la ganancia es el cociente entre la tensión de salida Vs y la de entrada Ve que tiene el amplificador operacional cuando no existe ningún lazo de realimentación entre la salida y alguna de las dos entradas. Véase figura 1.9.11.

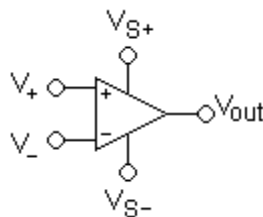


Figura 1.9.11 Diagrama del amplificador operacional en lazo abierto.

La ganancia del amplificador en lazo abierto está dada por la siguiente expresión:

$$AV = \frac{V_s}{V_e} \quad (1.9.3)$$

Donde:

AV= ganancia de tensión

Vs= tensión de salida

Ve= tensión de entrada

Ganancia en lazo cerrado.

Como decimos los amplificadores operacionales prácticos tienen ganancia de tensión muy alta (típicamente 105), sin embargo esta ganancia varía con la frecuencia. La forma de compensar esto es, controlar la ganancia de tensión que tiene el amplificador operacional, utilizando elementos externos para realimentar una parte de señal de la salida a la entrada, que hará que el circuito sea mucho más estable.

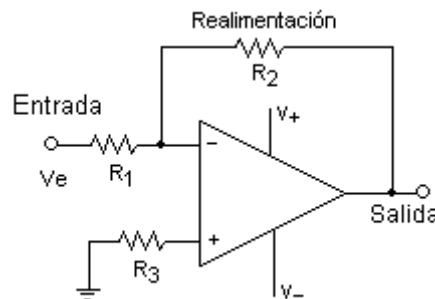


Figura 1.9.12. Amplificador operacional realimentado.

Con la realimentación, la ganancia de lazo cerrado, depende de los elementos empleados en la realimentación y no de la ganancia básica de tensión del amplificador operacional, por lo que, para modificar la ganancia modificaremos los valores de R1 y R2.

Como veremos a continuación, los circuitos con amplificadores operacionales, resistencias y condensadores, los podemos configurar para obtener diversas operaciones analógicas como sumas, restas, comparar, integrar, filtrar y por supuesto amplificar.

CONFIGURACIONES BÁSICAS DEL A.O.

Presentaremos, muy por encima, los modos básicos de configuración de un A.O. utilizados en este sistema como el amplificador no inversor y el LM386. El criterio para analizar los circuitos es:

La impedancia de cada entrada (Z_i), se considera tan alta que, las corrientes en ambas se consideran próximas a cero.

La tensión entre las entradas es muy similar, puede considerarse que están en "cortocircuito virtual", aunque no fluye corriente entre ellas.

Amplificador no Inversor.

Este es el caso en que la tensión de entrada V_e , está en fase con la de salida V_s , esta tensión de salida, genera una corriente a través de R_2 hacia el terminal inversor, a su vez a través de R_1 , se genera una corriente hacia el mismo terminal pero de signo contrario, por lo que ambas corrientes se anulan, reflejando en la salida la tensión de entrada amplificada.

Según se ha mencionado antes, el valor de $+V_e$ se refleja en la entrada inversora $-V_e$ del amplificador operacional y teniendo en cuenta que se considera un "cortocircuito virtual", podemos establecer que $i_e = V_e/R_1$.

Y como la corriente en la entrada inversora $i_- = 0$; $i_1 = i_2$; por lo tanto

$V_o = (R_1 + R_2) i_1$, sustituyendo se obtiene la expresión 1.9.4.

$$\frac{V_o}{V_e} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (1.9.4)$$

En la figura 1.9.13 se observa un A.O en configuración no inversora.

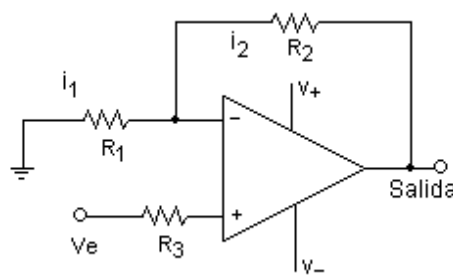


Figura 1.9.13. Amplificador operacional No- inversor.

EL LM386

El LM386 es un amplificador de potencia, diseñado para el empleo en usos de consumo de voltaje bajos. La ganancia interna es puesta a 20 para mantener la parte externa en cuenta baja, pero la adición de una resistencia externa y un condensador entre los pines 1 y 8 aumentarán la ganancia a cualquier valor entre 20 y 200.

Las entradas son referidas a tierra, mientras la salida influye automáticamente a la mitad de tensión del suministro. El drenador de potencia es de sólo 24 miliwatios aplicando un suministro de 6 voltios, esto hace ideal el LM386 para la operación en baterías.

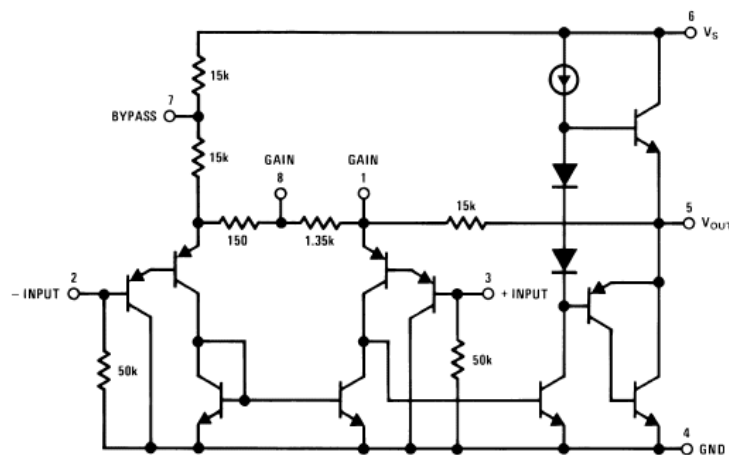


Figura 1.9.14. Esquema interno de LM386.

El amplificador operacional, está constituido por un circuito de entrada diferencial, en el diagrama anterior se aprecian los dos transistores que forman el amplificador diferencial y también las entradas (pines 1-8) para el control de ganancia. El encapsulado DIL es de 8 pines y se muestra en la figura.

Para hacer al LM386 que proporcione un amplificador más versátil, dispone de dos pines (1 y 8) para el control de ganancia. Con los pines 1 y 8 abiertos, una resistencia de 1.35 kW pone la ganancia en 20 (26 dB). Si se pone un condensador del pin 1 al 8, como bypass de la resistencia interna de 1.35 kW, la ganancia se acercará a 200 (46 dB). Si colocamos una resistencia en serie con el condensador, la ganancia puede ser puesta a cualquier valor entre 20 y 200. El control de ganancia también se puede hacer capacitivamente acoplando una resistencia (o FET) del pin 1 a masa.

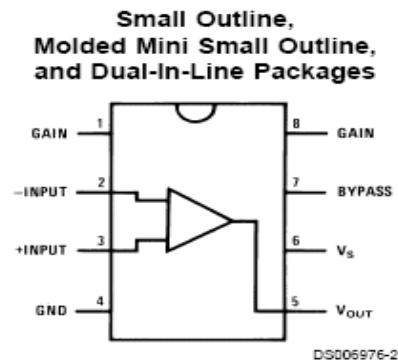


Figura 1.9.15. Pin Out del LM386.

Con componentes adicionales externos, colocados en paralelo con las resistencias de regeneración internas, se puede adaptar la ganancia y la respuesta en frecuencia para usos concretos. Por ejemplo, podemos compensar la pobre respuesta de bajos del altavoz por frecuencia, mediante la realimentación. Esto se hace con una serie RC del pin 1 a 5 (resistencia en paralelo a la interna de 15 k).

Para resistencias de fuente dc menor de 10 k, podemos eliminar el exceso compensado, poniendo una resistencia de la entrada no usada a masa, igual al valor de la resistencia de la fuente dc. Desde luego todos los problemas de compensación son eliminados si es acoplada la entrada capacitivamente. Usando el LM386 con ganancias más altas (evitando la resistencia de 1.35 k interna entre pines 1 y 8) es necesario evitar la entrada no usada, previniendo la degradación de ganancia e inestabilidades posibles. Esto se hace con un condensador de 0,1 μF o un corto a masa según la resistencia de la fuente dc sobre la entrada manejada.

En la figura 1.9.16 se observa la configuración para una ganancia de 20 LM386.

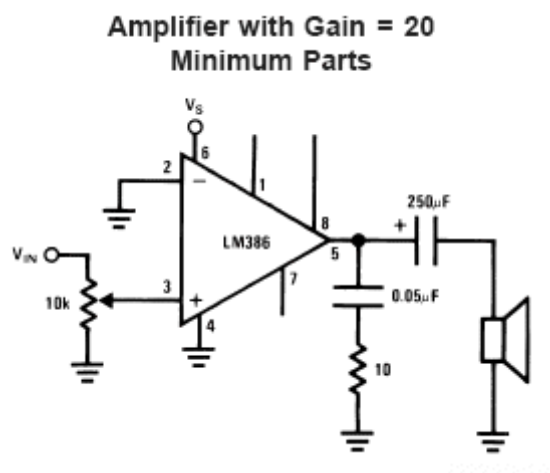
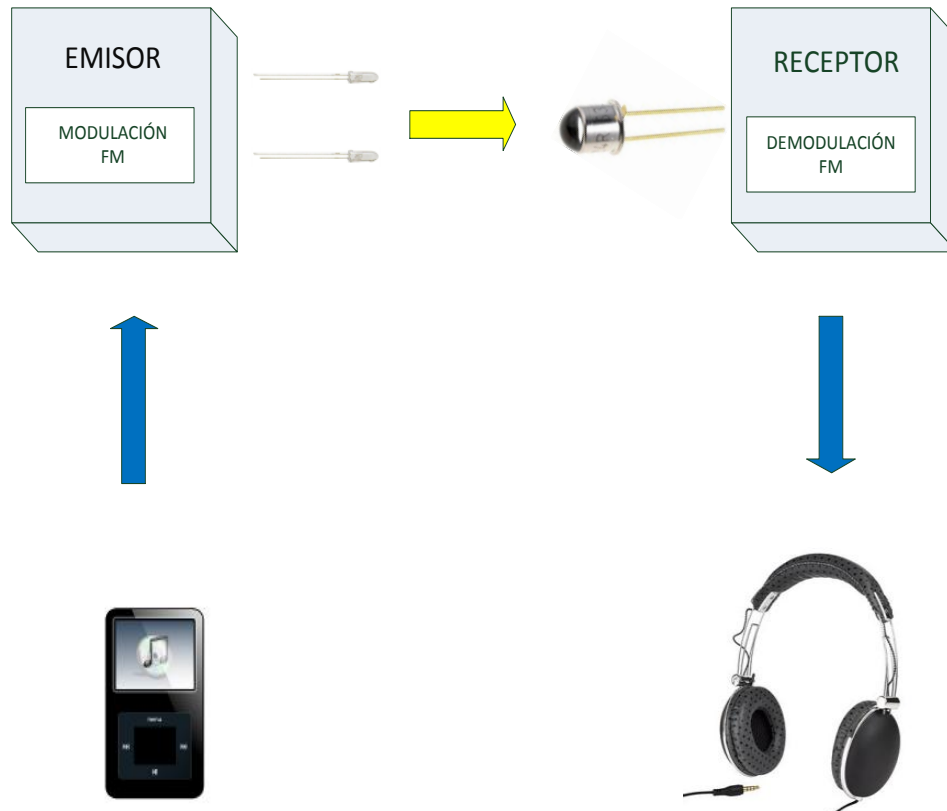



Figura 1.9.16. Configuración del LM386 con una ganancia de 20.

En nuestro sistema se ha utilizado la configuración que tiene una ganancia de 20 debido a que con esta ganancia es suficiente para gobernar el altavoz.

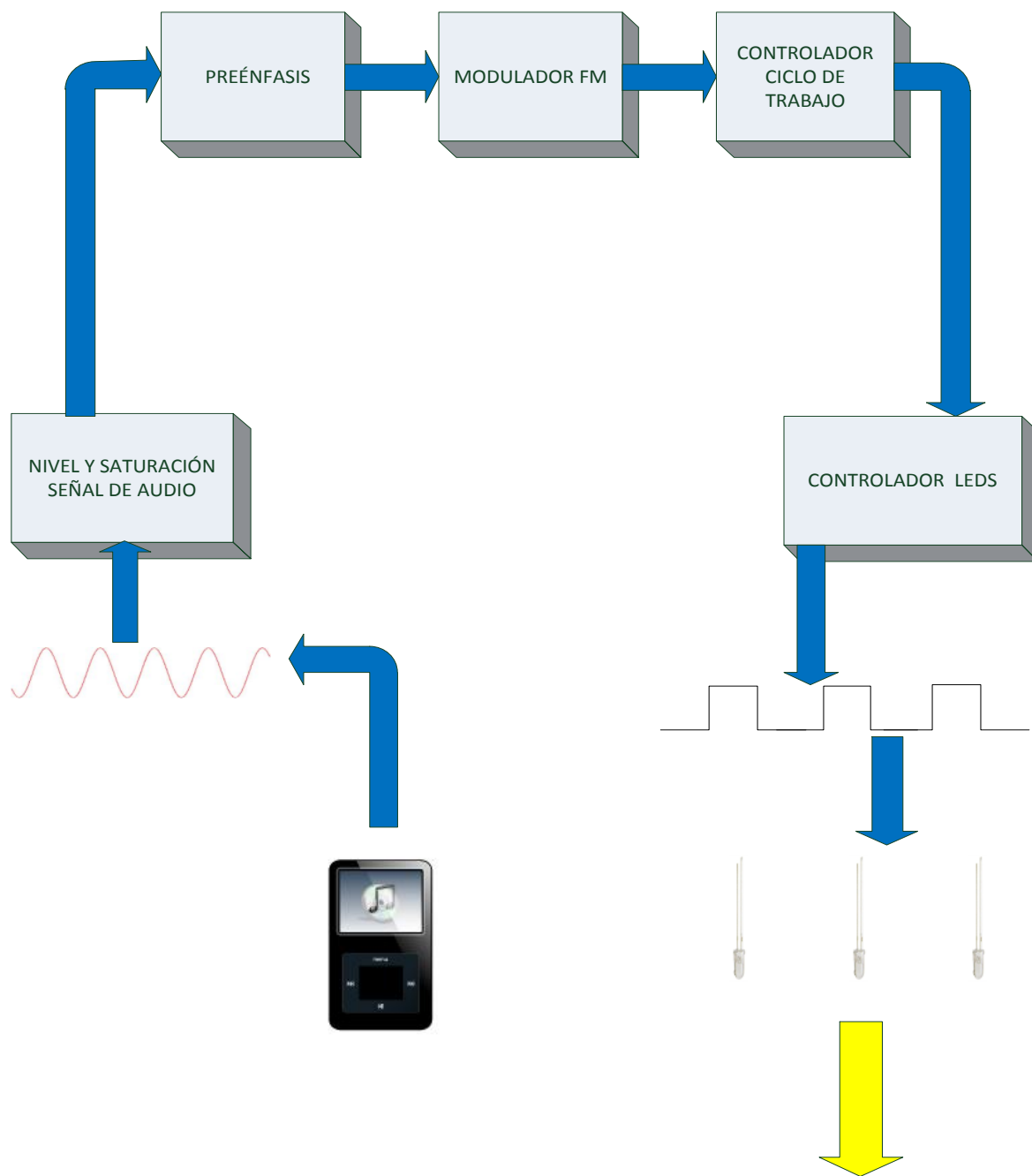
2.PLANOS


SISTEMA COMPLETO



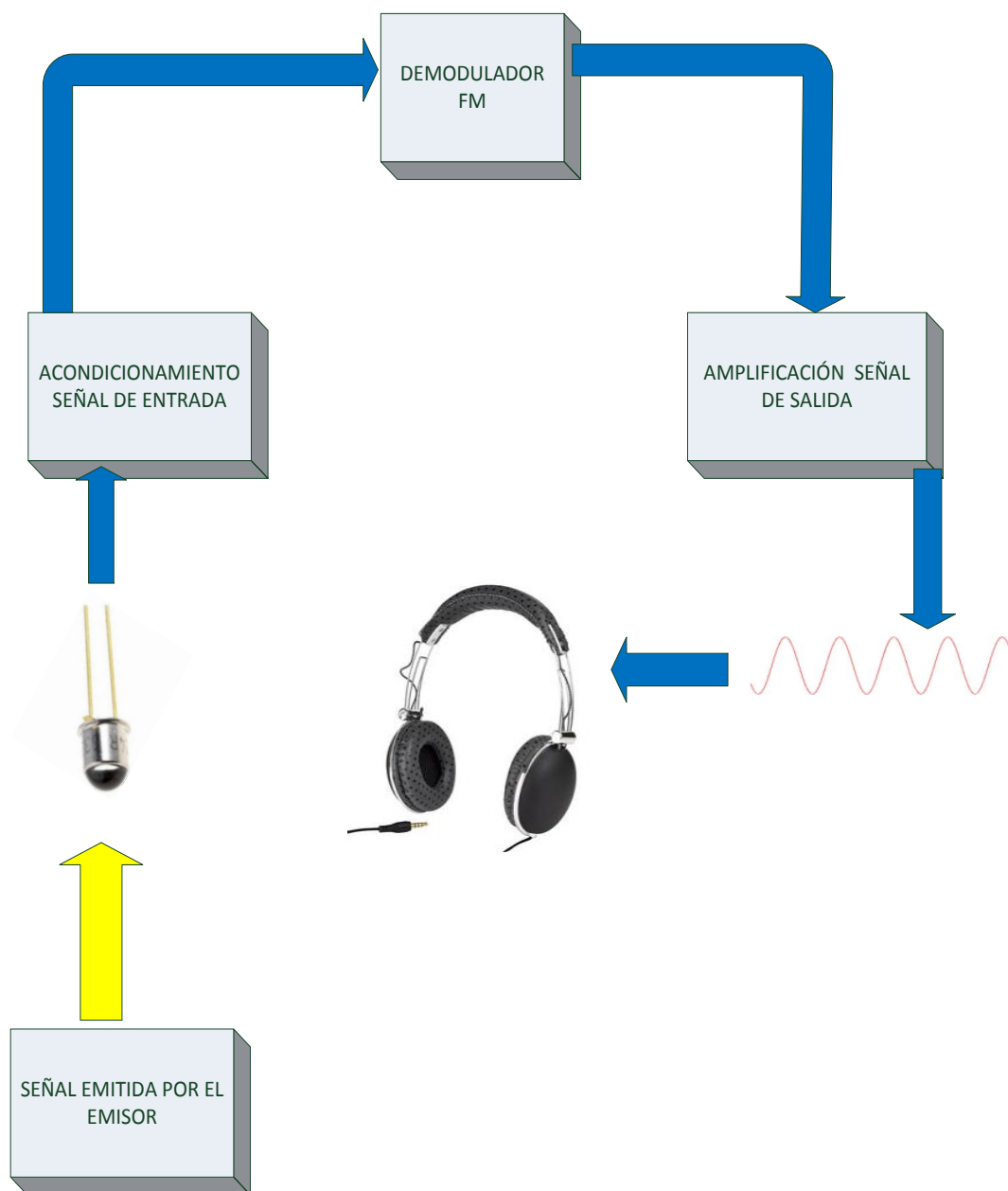
	Nombre:		
	Diagrama de bloques del sistema		
	Proyecto:		
	Enlace Optoelectrónico de Audio		
Nº Plano: 1	Autor: Jesús García Lozano	Fecha:13/12/12	Escala:


EMISOR

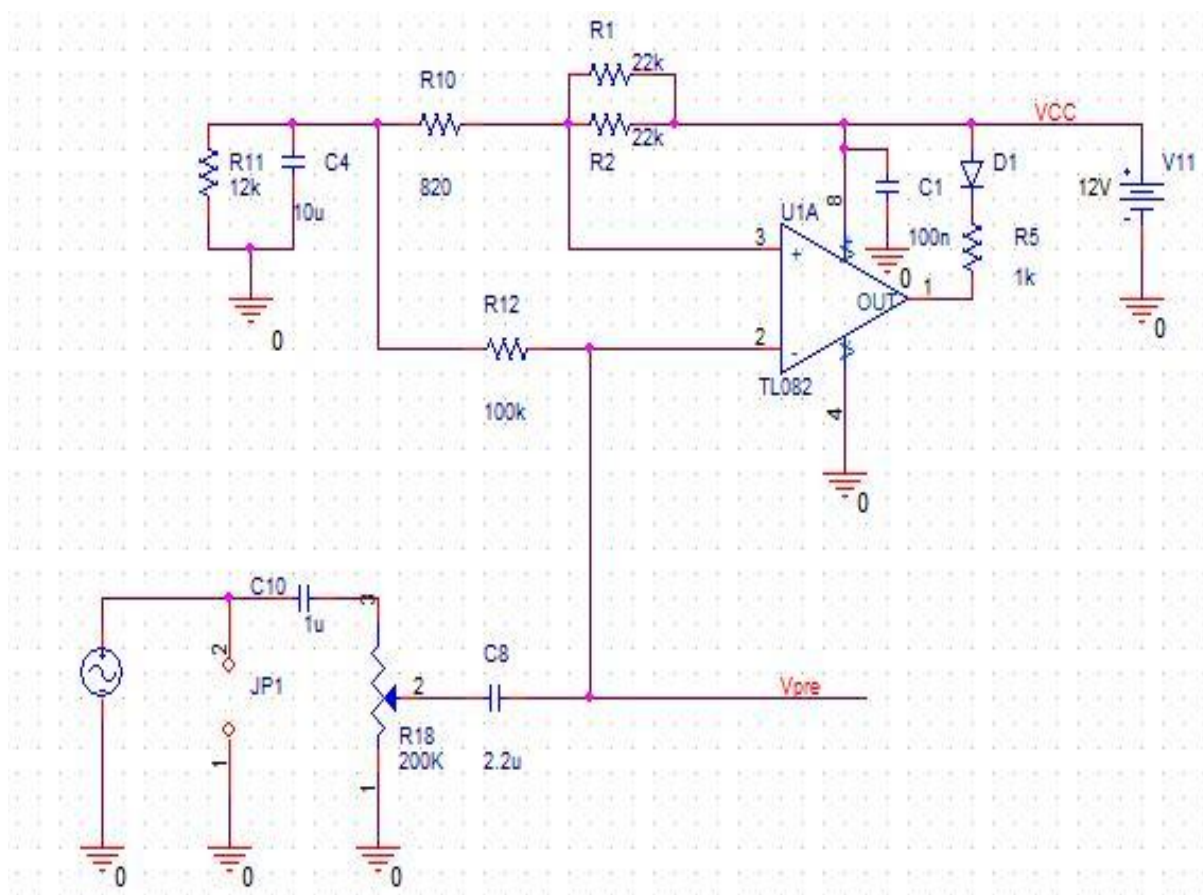



 GDAF	Nombre:		
	Diagrama de bloques del emisor		
	Proyecto:		
	Enlace Optoelectrónico de Audio		
Nº Plano: 2	Autor: Jesús García Lozano	Fecha:13/12/12	Escala:

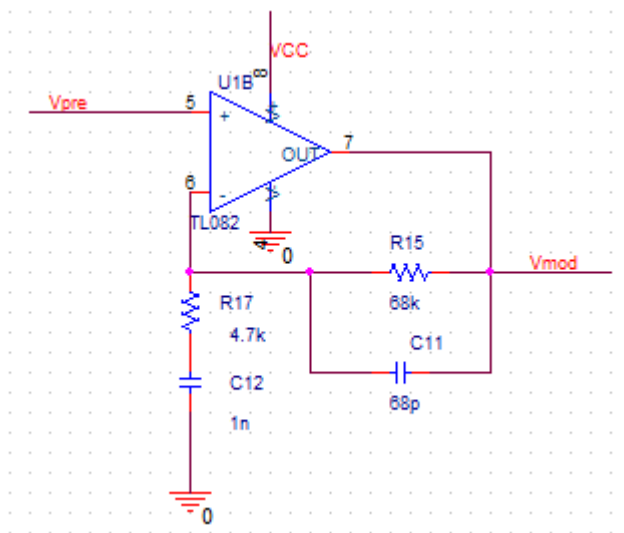
RECEPTOR



 GDAF	Nombre:		
	Diagrama de bloques del receptor		
	Proyecto:		
	Enlace Optoelectrónico de Audio		
Nº Plano: 3	Autor: Jesús García Lozano	Fecha:13/12/12	Escala:



 GDAF	Nombre:		
	Nivel y monitorización de la señal de audio		
	Proyecto:		
	Enlace Optoelectrónico de Audio		
Nº Plano: 4	Autor: Jesús García Lozano	Fecha:13/12/12	Escala:



GDAF

Nombre:

Preénfasis

Proyecto:

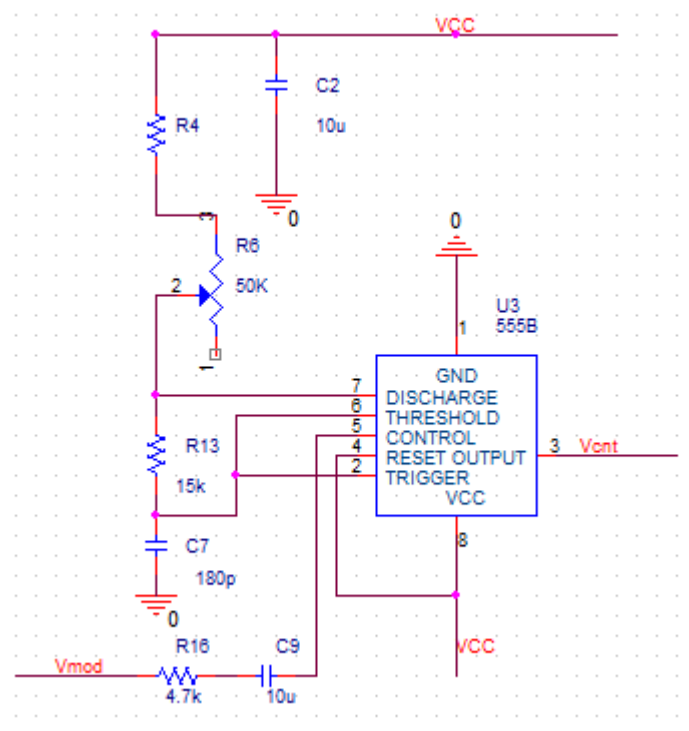
Enlace Optoelectrónico de Audio


Nº Plano: 5

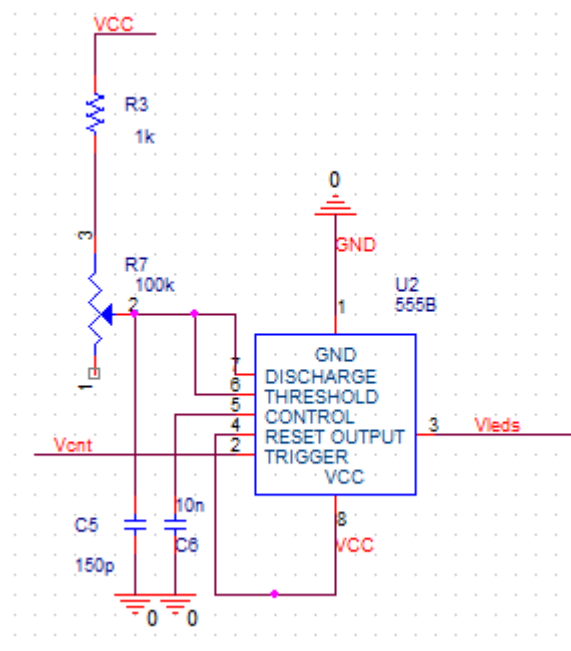
Autor: Jesús García Lozano


Fecha: 13/12/12

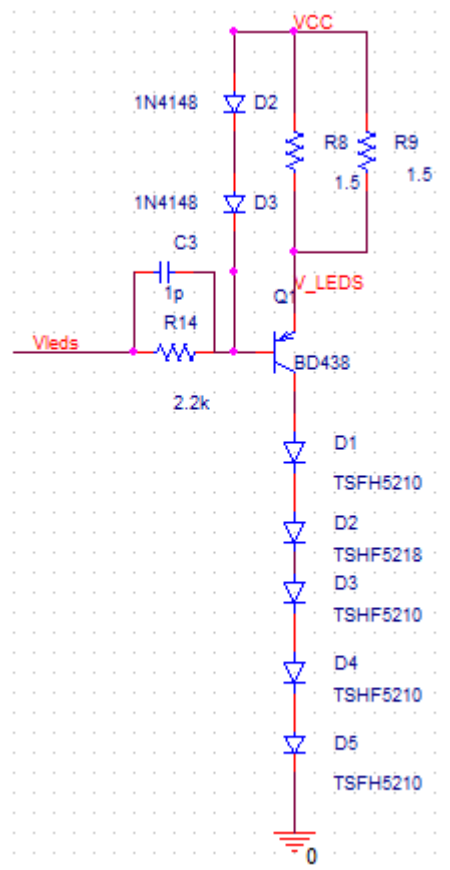
Escala:




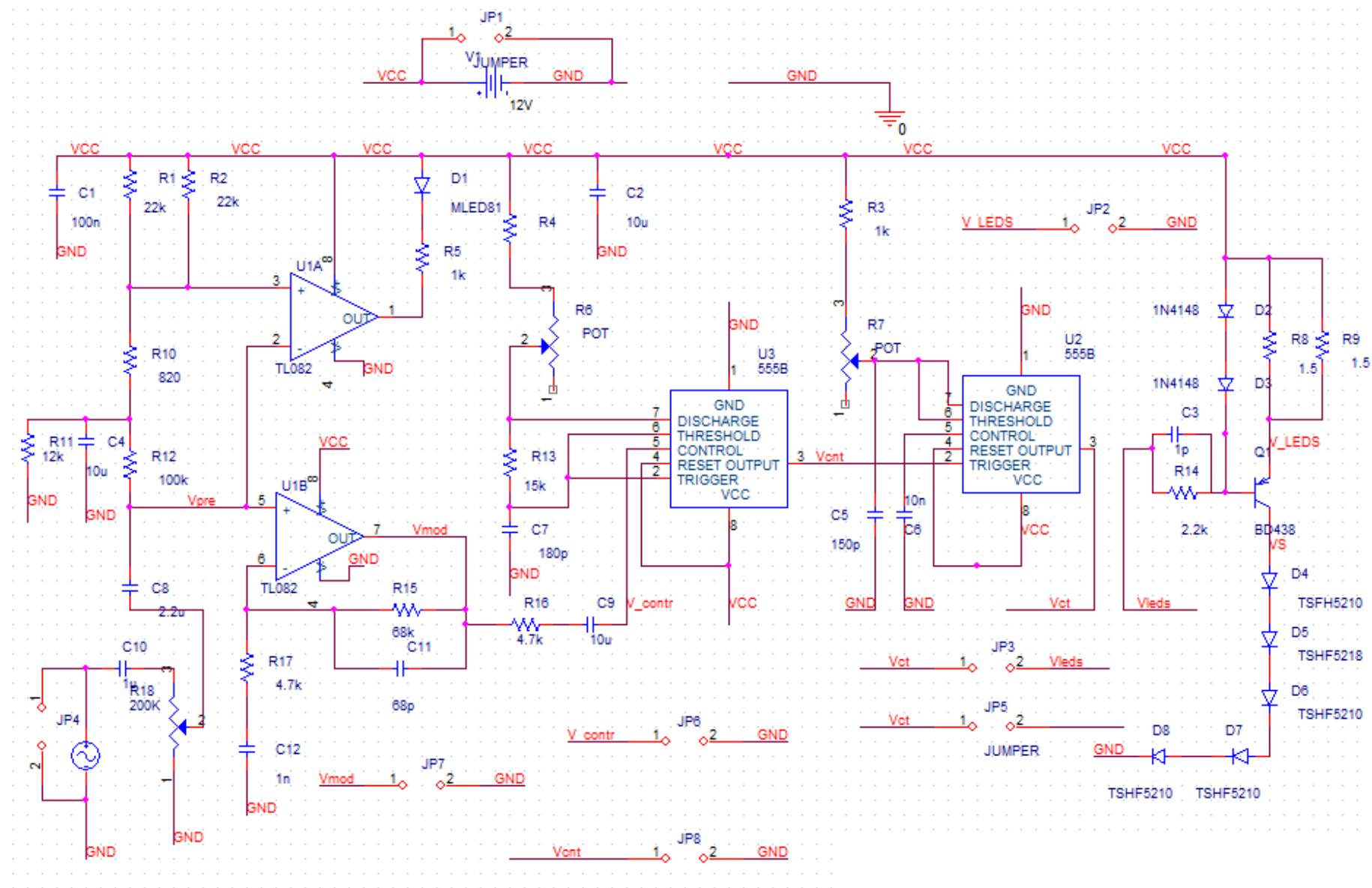
 GDAF	Nombre:		
	Modulador FM		
	Proyecto:		
	Enlace Optoelectrónico de Audio		
Nº Plano: 6	Autor: Jesús García Lozano	Fecha:13/12/12	Escala:



 GDAF	Nombre:		
	Controlador del ciclo de trabajo		
	Proyecto:		
	Enlace Optoelectrónico de Audio		
Nº Plano: 7	Autor: Jesús García Lozano	Fecha: 13/12/12	Escala:

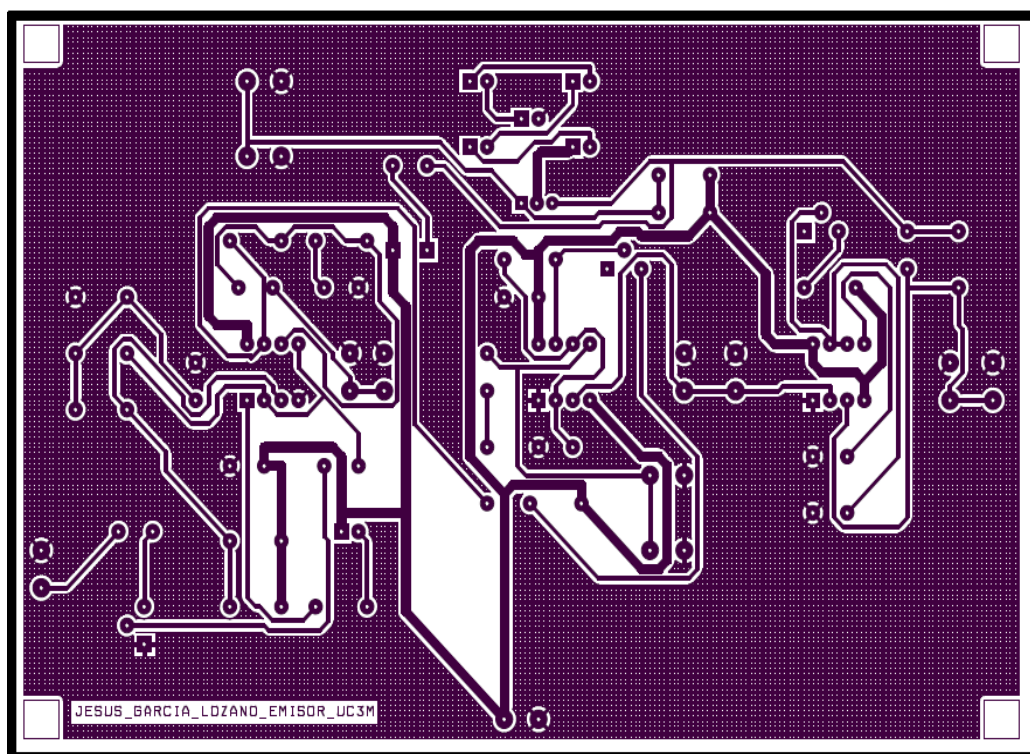
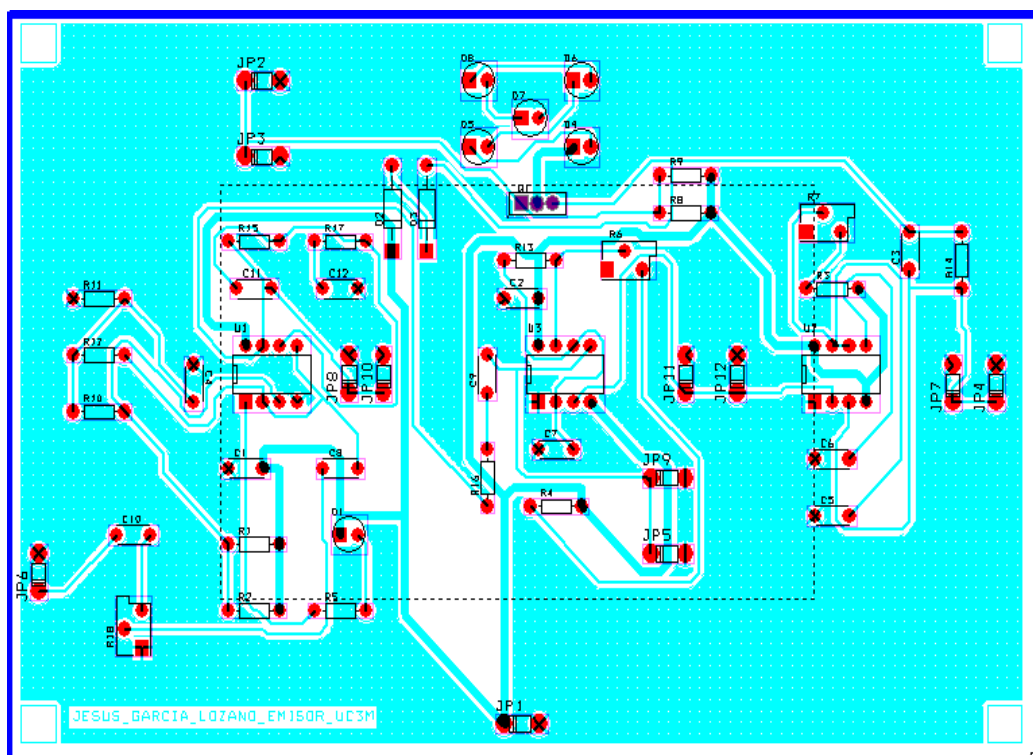


 GDAF	Nombre:		
	Controlador de los leds		
	Proyecto:		
	Enlace Optoelectrónico de Audio		
Nº Plano: 8	Autor: Jesús García Lozano	Fecha:13/12/12	Escala:



GDAF

Nombre:			
Emisor			
Proyecto:			
Enlace Optoelectrónico de Audio			
Nº Plano: 9	Autor: Jesús García Lozano	Fecha: 13/12/12	Escala:



GDAF

Nombre:

Layout del emisor

Proyecto:

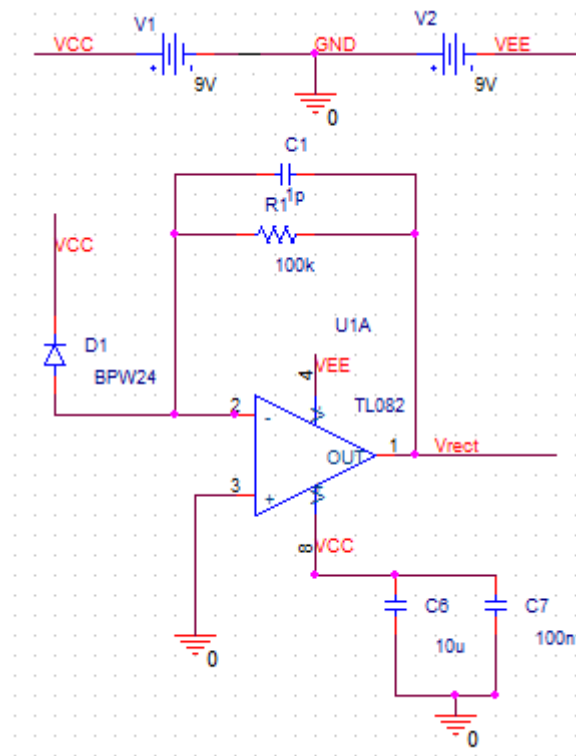
Enlace Optoelectrónico de Audio


Nº Plano: 10

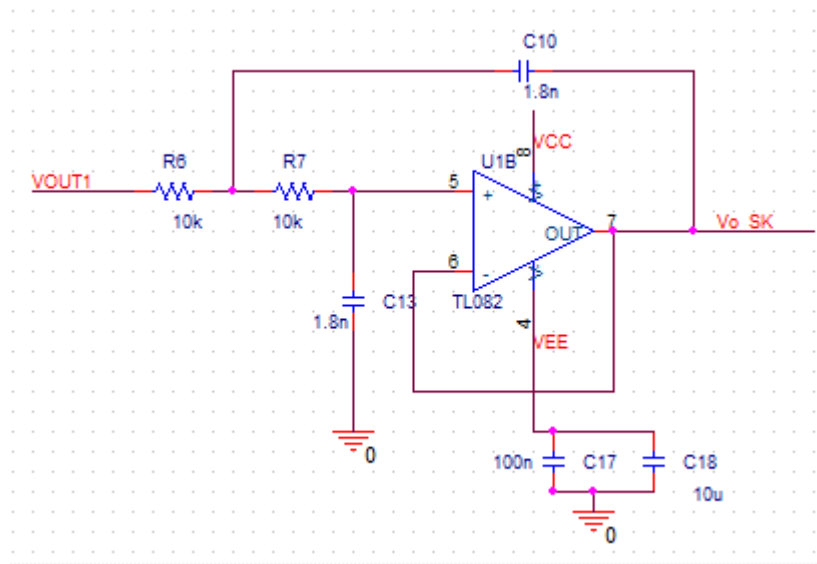
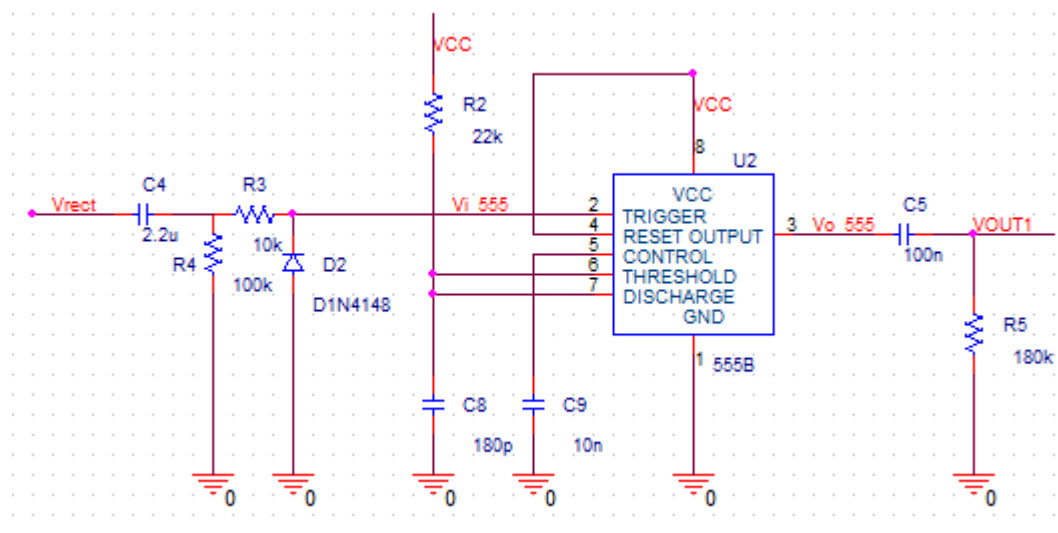
Autor: Jesús García Lozano

Fecha: 13/12/12

Escala:



 GDAF	Nombre:		
	Acondicionamiento de la señal recibida		
	Proyecto:		
	Enlace Optoelectrónico de Audio		
Nº Plano: 11	Autor: Jesús García Lozano	Fecha:13/12/12	Escala:



GDAF

Nombre:

Demodulador FM

Proyecto:

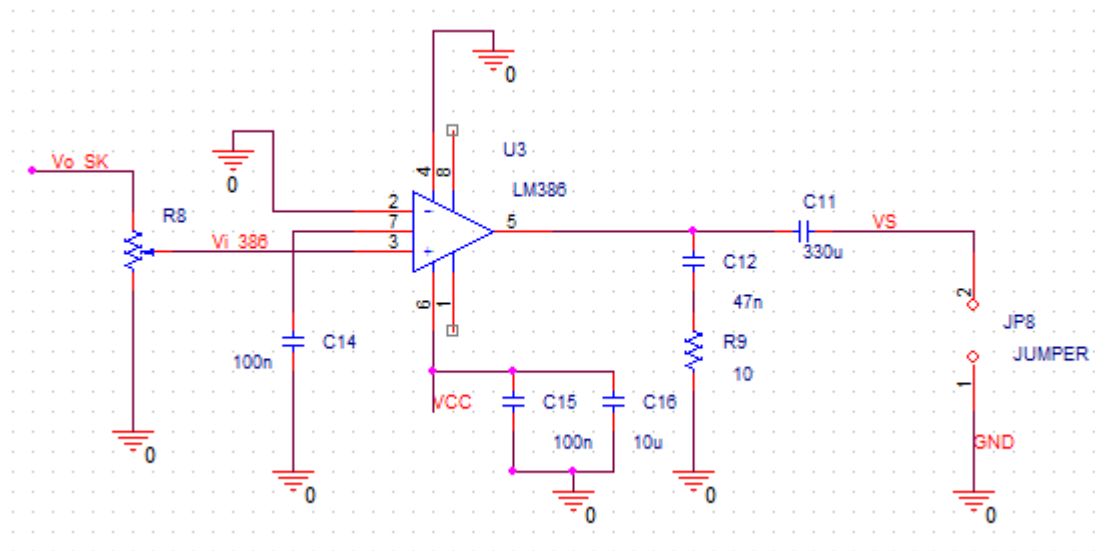
Enlace Optoelectrónico de Audio


Nº Plano: 12

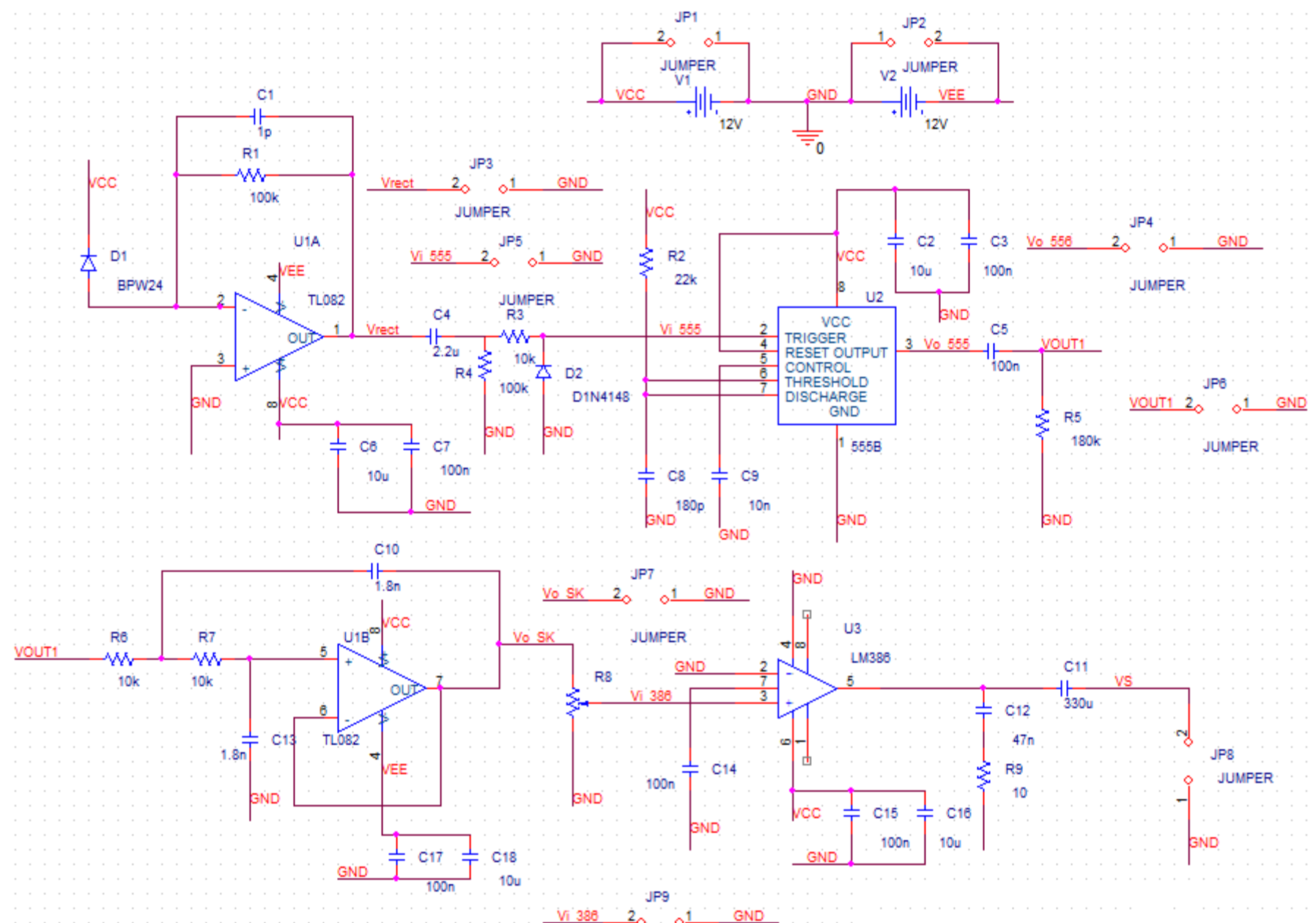
Autor: Jesús García Lozano


Fecha: 13/12/12

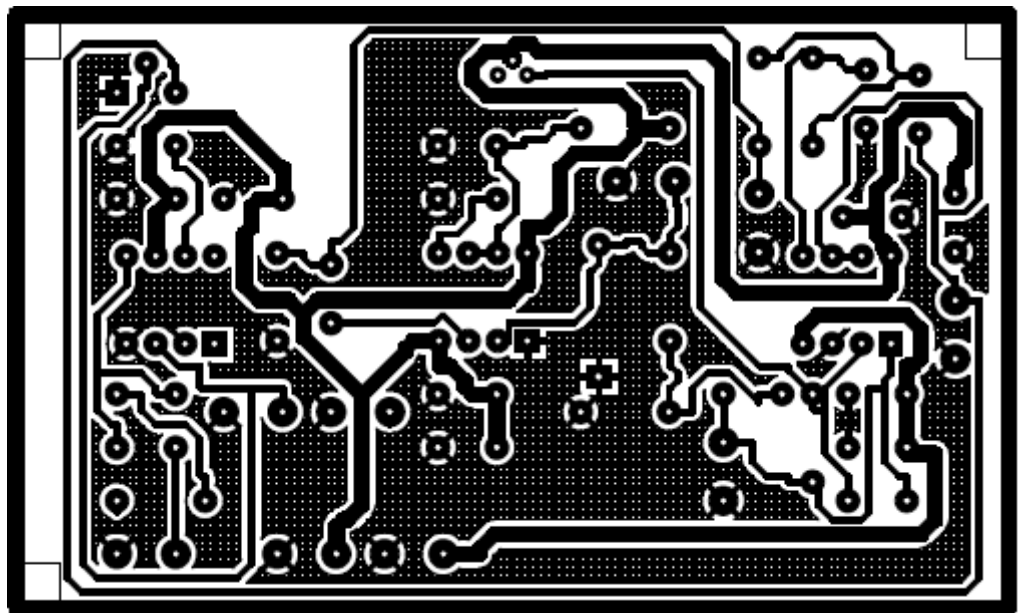
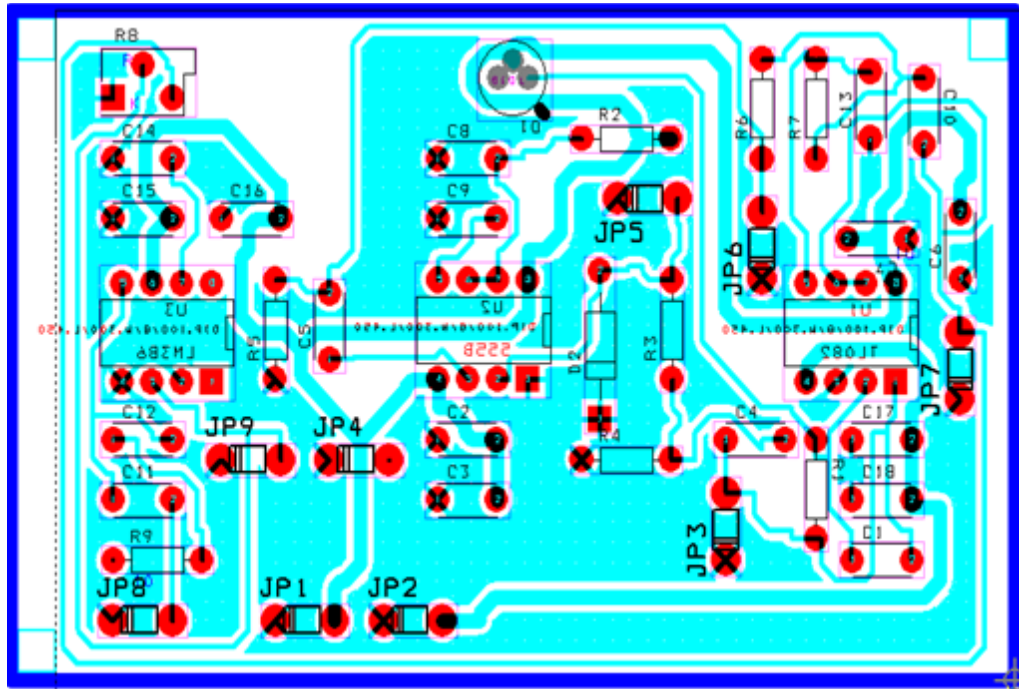
Escala:



 GDAF	Nombre:		
	Amplificación de la señal de salida		
	Proyecto:		
	Enlace Optoelectrónico de Audio		
Nº Plano: 13	Autor: Jesús García Lozano	Fecha:13/12/12	Escala:



 GDAF	Nombre:		
	Receptor		
	Proyecto:		
	Enlace Optoelectrónico de Audio		
Nº Plano: 14	Autor: Jesús García Lozano	Fecha:13/12/12	Escala:



GDAF

Nombre:

Diagrama de bloques del receptor

Proyecto:

Layout del receptor

Nº Plano: 15

Autor: Jesús García Lozano

Fecha: 13/12/12

Escala:

3.PLIEGO DE CONDICIONES

La definición usada en el Código Técnico de la Edificación es la siguiente:

“Es un conjunto de artículos o cláusulas que regulan los derechos, responsabilidades, obligaciones y garantías mutuas entre los distintos agentes de la edificación: promotor, constructor, proyectista, director de obra, director de ejecución de las obras”.

PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES

Prescripción de los componentes más relevantes del sistema:

1. Amplificador Operacional

a. Definición.

Son, dispositivos compactos activos y lineales de alta ganancia, diseñados para proporcionar la función de transferencia deseada.

b. Generalidades.

El amplificador operacional tiene que ser tipo DIP es decir un componente de inserción. Tiene que soportar una alimentación simétrica de 12 voltios y tener un slew rate mayor que 10 V/us.

2. LED de IR

a. Definición.

Diodo emisor de luz infrarroja.

b. Generalidades.

El LED tiene que soportar una corriente de pico de 1A y una corriente continua de 100ma. Tiene que ser de inserción, DIP, y tener un tiempo de conmutación menor de 30 ns.

3. Transistor PNP

a. Definición

Transistor bipolar tipo PNP

b. Generalidades

El transistor tiene que ser bipolar PNP tener un tiempo de conmutación mayor a 100ns para que soporte la modulación requerida y resistir a una

corriente de paso de 1A.

4. Fuente de Alimentación

a. Definición

Fuente que suministra al sistema la tensión y la corriente necesarias para su funcionamiento.

b. Generalidades

La fuente tiene que tener una entrada de 220 VAC y tener una salida de 12 VDC y poder suministrar al sistema más de 1 A.

5. Fotodiodo

a. Definición

Diodo que al recibir una señal luminosa transforma la luz recibida en corriente.

b. Generalidades

El fotodiodo tiene que tener una longitud de onda muy próxima a la longitud de onda del LED IR seleccionado y tiene que soportar una tensión inversa de 12 voltios.

4.PRESUPUESTO.

En este capítulo se desarrolla una valoración de los costes del módulo emisor, receptor y del personal que ha trabajado en la construcción del sistema.

1. Autor: Jesús García Lozano.
2. Departamento: Tecnología Electrónica. Grupo de Displays y Aplicaciones Fotónicas, GDAF.
3. Descripción del proyecto:
 - a. Título: Enlace Optoelectrónico de Audio Analógico.
 - b. Duración: 10 meses.
 - c. Tasa de costes indirectos: 18%
4. Presupuesto total del proyecto: **3121,15 €**
5. Desglose presupuestario de los costes directos

COSTES DE PERSONAL

Para estimar los costes de personal se ha tomado como referencia los trabajadores adscritos a un Proyecto en la universidad Carlos III de Madrid. A continuación se muestran esos costes en función de la categoría.

Ingeniero Técnico Industrial Electrónico.....25 €/hora

Secretario.....15 €/hora

Las cargas sobre los salarios son las siguientes:

Seguridad Social.....27%

Desempleo.....1.55%

Formación Profesional.....0.1%

Total.....28.65%

PFC: ENLACE OPTOELECTRÓNICO DE AUDIO

PRESUPUESTO

Los gastos totales de personal son los siguientes, en función del número de horas dedicadas a cada tarea:

Tarea	Número de horas	Coste/Hora	TOTAL
Diseño y pruebas	50	32,17 €/hora	1608,5 €
Documentación	50	19,30 €/hora	965 €
COSTE TOTAL			2573.5 €

COSTES DE MATERIAL.

A continuación se detallan los componentes utilizados en el proyecto, las unidades utilizadas, su coste unitario y su coste total.

Descripción	Modelo	Unidad- es	Precio Unidad (€)	Precio Total (€)
CAPITULO I : EMISOR				
Amplificador operacional	TL082CN DIP8	1	0,66	0,66
Transistor PNP	BD438	1	0,9	0,9
Temporizador	NE555	2	0,485	0,97
Led Infrarrojos	TSHF5210	5	0,353	1,77
Diodo de señal	1N4148	2	0,011	0,022
Potenciómetro	Vres10	3	0,47	1,41
Fuente de Alimentación	RS-25-12	1	34,23	34,23
Conector integrado tipo clema	-	2	0,09	0,18
Resistencia	1/4 W	17	0,05	0,85
Condensador electrolítico	C 10uF	2	0,138	0,276
Condensador electrolítico	C 1uF	1	0,1	0,1
Condensador electrolítico	C 2.2 uF	1	0,08	0,08

PFC: ENLACE OPTOELECTRÓNICO DE AUDIO

PRESUPUESTO

Condensador cerámicos	Monocapa	7	0,21	1,47
Condensador	Poliéster	1	0,18	0,18
Conector JACK	Macho 3.5mm	1	0,69	0,69
Plancha de aluminio 350x130x4mm	-	1	15	15
Bridas 280x3.6mm	poliamida	1	0,01	0,01
soporte para bridas	-	1	0,03	0,03
Termoretráctil 10cm	-	1	0,03	0,03
Separadores M3mm	-	4	0,03	0,12
Tornillos M3mmx12mm	-	4	0,03	0,12
Tuercas M3mm	-	4	0,04	0,16
Total Capitulo I				59,25

CAPITULO II: RECEPTOR

Amplificador operacional	TL082 DIP8	1	0,66	0,66
Temporizador	NE555	1	0,485	0,485
Amplificador operacional	LM386N-4 1W	1	0,72	0,72
Conector tipo pines 2mm	-	6	0,08	0,48
Conector JACK	Hembra 3.5mm	1	0,55	0,55
Baterías de 9 V dc	-	2	3,32	6,64
Resistencia	1/4 W	8	0,05	0,05
Potenciómetro	Vres10	1	0,47	0,47
Condensador electrolítico	C 10 uF	4	0,138	0,552
Condensador electrolítico	C 330 uF	1	0,31	0,31
Condensadores cerámicos	Mono capa	13	0,21	2,73
Fotodiodo	BPW24R	1	3,21	3,21
Diodo de señal	1N4148	1	0,011	0,011

PFC: ENLACE OPTOELÉCTRICO DE AUDIO

PRESUPUESTO

Plancha de aluminio 180x100x4mm	-	1	8	8
soporte para bridas	-	1	0,03	0,03
Termoretráctil 10cm	-	1	0,03	0,03
Bridas 280x3.6mm	poliamida	2	0,01	0,01
Tuercas M3mm	-	2	0,04	0,08
Tornillos M3mmx12mm	-	4	0,03	0,12
Separadores M3mm	-	2	0,03	0,06
Total Capítulo 2				25,198
TOTAL COSTE DE MATERIAL				84,45

6. Resumen de los costes

En la siguiente tabla se muestra el total del presupuesto.

Presupuesto coste totales	Presupuesto costes (€)
Coste de Personal	2573,5
Coste de Material	84,45
Costes Indirectos	463,2
TOTAL	3121,15

El presupuesto total de este proyecto asciende a la cantidad de 3121,15 € TRES MIL CIENTO VEINTIUNO CON QUINCE CÉNTIMOS.

Leganés a 13 de Diciembre de 2012

El ingeniero proyectista

Fdo. Jesús García Lozano

5.GLOSARIO

A.O	Amplificador Operacional
FD	Fotodiodo.
FM	Modulación FM para la transmisión de audio.
GDAF	Grupo de Displays y Aplicaciones Fotónicas.
IR	Infrarrojo.
LED	Diodo emisor de luz
PCB	Placa de circuito impreso.
RF	Radiofrecuencia.
TL	Tiempo de la señal a nivel bajo
TH	Tiempo de la señal a nivel alto
VCO	Oscilador controlado por voltaje

6.REFERENCIAS

BIBLIOGRAFÍA

- [Pérez García] Miguel A. Pérez García, Juan c. Álvarez Antón, Juan c. Campo Rodríguez, Javier Ferrero Martín y Gustavo j. Grillo Ortega. "Instrumentación electrónica". ISBN: 978-84-9732-166-2.
- [Frenzel] Frenzel. "Electrónica aplicada a los sistemas de las comunicaciones". ISBN: 970-15-0854-8.
- [Malvino] Albert Malvino y David J. Bate. "Principios de electrónica". ISBN: 978-84-481-5619-0.
- [Humphries] James T. Humphries y Leslie P. Sheets. "Electrónica Industrial". ISBN: 84-283-22768-3.
- [Guerra] Jorge Pleite Guerra, Ricardo Vergaz Benito y Jose Manuel Ruiz De Marcos. "Electrónica Analógica para ingenieros". ISBN: 978-84-481-6885-8.
- [Tejada] L. Gómez De Tejada. "Tecnología Electrónica". ISBN: 84-283-2044-6.
- [Santa Cruz] Oscar M. Santa Cruz. "Apuntes de electrónica aplicada III".

PÁGINAS WEB.

- [1] http://ocw.uc3m.es/tecnologia-electronica/componentes-y-circuitos-electronicos/practicas-1/OCW-CCE_P1_Introduccion_simulacion_circuitos_electronicos.pdf.
- [2] http://ocw.uc3m.es/tecnologia-electronica/instrumentacion-electronica-i/material-de-clase-1/Tema4_A2.pdf
- [3] <http://es.wikipedia.org>

ENLACE OPTOELECTRÓNICO DE AUDIO

REFERENCIAS

HOJAS DE CARACTERÍSTICAS

- TL082
<http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/002c/0900766b8002cf5c.pdf>
- BD438
<http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0031/0900766b80031217.pdf>
- NE555
<http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/00ab/0900766b800abab2.pdf>
- TSHF5210
<http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0e1b/0900766b80e1b0e4.pdf>
- 1N4148
<http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0896/0900766b80896c7b.pdf>
- RS-25-12
<http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0884/0900766b8088499a.pdf>
- LM386
<http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/06e8/0900766b806e88be.pdf>
- BPW24R
<http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0e22/0900766b80e22c13.pdf>

